

Laiane Susan Silva Almeida

**INFLUÊNCIA DE PARÂMETROS FÍSICOS E GEOMÉTRICOS
NO DESEMPENHO TERMOENERGÉTICO DE HABITAÇÕES
UNIFAMILIARES**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial exigido para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil.

Orientador: Enedir Ghisi, PhD.

Florianópolis
2014

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Almeida, Laiane Susan Silva
Influência de parâmetros físicos e geométricos no
desempenho termoenergético de habitações unifamiliares /
Laiane Susan Silva Almeida ; orientador, EneDIR Ghisi -
Florianópolis, SC, 2014.
133 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil.

Inclui referências

1. Engenharia Civil. 2. RTQ-R. 3. Simulação
computacional. 4. Projeto de experimento. I. Ghisi, EneDIR
. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de
Pós-Graduação em Engenharia Civil. III. Título.

Laiane Susan Silva Almeida

**INFLUÊNCIA DE PARÂMETROS FÍSICOS E GEOMÉTRICOS
NO DESEMPENHO TERMOENERGÉTICO DE HABITAÇÕES
UNIFAMILIARES**

Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de Mestre, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

Florianópolis, 29 de maio de 2014.

Prof. Roberto Caldas de Andrade Pinto, Dr.
Coordenador do Programa de Pós-Graduação

Banca Examinadora:

Prof. Eneir Ghisi, PhD.
Orientador
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Antônio Cleber Gonçalves Tibiriçá, Dr.
Avaliador externo
Universidade Federal de Viçosa

Prof. Roberto Lamberts, PhD.
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Devis Luis Marinoski, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Dedico este trabalho ao
Ministério Universidades Renovadas,
que há 20 anos proporciona aos
estudantes uma experiência profunda
com Deus dentro das universidades. EU
TENHO UM SONHO DE AMOR
PARA O MUNDO.

AGRADECIMENTOS

À minha família, em especial aos meus pais, por terem me proporcionado uma base sólida no amor, nos estudos e na fé, e por todo incentivo dado no início e durante todo o mestrado, mesmo este implicando a nossa distância.

Ao meu marido, Arthur, por toda dedicação e carinho ao longo do tempo de namoro e de noivado que vivemos durante o mestrado, e por ser meu baluarte e meu companheiro de estudos desde a graduação.

Ao meu orientador, professor Enedir, pelo empenho, paciência e disponibilidade durante todo o processo de aprendizagem e desenvolvimento deste estudo. A todos os colegas pesquisadores do LabEEE. À Kathlen Shneider, pelo carinho, dedicação e esforço empenhados neste estudo durante todo o período de iniciação científica. E à colega de projeto, Aline Scheafer, pela colaboração na obtenção dos dados necessários ao estudo e por ter se tornado uma grande amiga.

À Capes, pela bolsa de estudos que auxiliou na subsistência durante o desenvolvimento do mestrado.

A todos os amigos do Grupo de Oração Universitário, por terem nos acolhido e se tornado nossa família, servindo de suporte e consolo nos momentos difíceis e por todos os muitos momentos felizes e especiais que vivemos juntos, que estarão para sempre na memória. E a todos os amigos que, mesmo com a distância, sempre se mantiveram presentes dando ânimo e apoio.

E acima de tudo, à Deus, que me guiou por todo este caminho e me deu forças para prosseguir apesar das dificuldades, e à Nossa Senhora Auxiliadora, por estar sempre à minha frente apontando o caminho correto a seguir.

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo analisar a influência de parâmetros físicos e geométricos no indicador de graus hora para resfriamento e nos consumos relativos para aquecimento e resfriamento de diferentes tipologias de edificações residenciais unifamiliares pelo método de simulação do Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R). O método foi aplicado em três partes. A primeira é composta pela obtenção dos dados utilizados no estudo, que foram coletados através de auditorias em habitações localizadas em Florianópolis-SC. A segunda parte do método é a avaliação do nível de eficiência energética da envoltória de 50 habitações através do método de simulação do RTQ-R. A terceira parte do método é o planejamento de experimento fatorial, no qual primeiramente, foram determinados os parâmetros físicos e geométricos, fixos ou variáveis na análise. Foram determinadas cinco tipologias representativas e, por fim, foram determinados os parâmetros que mais influenciam no desempenho termoenergético e no equivalente numérico da envoltória das tipologias representativas encontradas. Através dos resultados, verificou-se que 58% das habitações avaliadas tiveram suas envoltórias classificadas como nível “E” de eficiência energética. Após a análise da influência dos parâmetros nos resultados do indicador de graus hora de resfriamento das tipologias representativas, o parâmetro mais influente foi a absorvância solar das paredes externas, seguido pela absorvância solar da cobertura. Para os resultados de consumo relativo para aquecimento, os parâmetros mais influentes foram a transmitância térmica das paredes externas e o contato da cobertura das habitações com o exterior. Para os resultados de consumo relativo para resfriamento, os parâmetros mais influentes foram a absorvância solar das paredes externas, a transmitância térmica das paredes externas e o contato do piso da habitação com o solo. Ao final do estudo, pode-se concluir que para todas as tipologias representativas o parâmetro que exerce maior influência no equivalente numérico final da envoltória é a absorvância solar das paredes externas das. O estudo contribui para enriquecimento da literatura sobre aplicação do método de simulação do RTQ-R, por se tratar da análise de uma grande amostra de habitações, bem como sobre aplicação de métodos estatísticos na determinação da influência de diversos parâmetros no desempenho termoenergético de habitações.

Palavras-chave: RTQ-R; simulação computacional; projeto de experimento.

ABSTRACT

This paper aims to analyze the influence of physical and geometrical parameters in the index of degree hour for cooling and in relative consumptions for heating and cooling of different typologies of detached residential buildings by simulation method of the Brazilian regulation for energy efficiency levels in residential buildings (RTQ-R). The method was applied in three parts. The first part is related to obtaining the data used in the study, which were collected through audits in single-family dwellings located in Florianópolis-SC. The second part of the method is the evaluation of the level of energy efficiency of the envelope of a sample of 50 dwellings through the simulation method of the RTQ-R. The third part of the method is the factorial design of experiment, in which first, physical and geometric parameters, fixed or varied parameter in the analysis were determined. Five representative typologies were determined for the sample. Finally, the parameters that most influence the thermoenergetic performance and the numerical equivalent of the envelope of representative typologies were determined. Through the results, one can verify that 58% of dwellings had their envelopes classified as level "E" for their energy efficiency. After analyzing the influence of parameters on the index of degree hour cooling of representative typologies, the most influential parameter was the solar absorptance of external walls, followed by the solar absorptance of the roof. As for the results of relative consumption for heating, the most influential parameters were the thermal transmittance of the external walls and contact of the dwelling's roof with the outside. As for the results of relative consumption for cooling, the most influential parameters were solar absorptance of external walls, the thermal transmittance of the external walls and the contact of the dwellings' floor with the ground. At the end of the study, one can conclude that for all representative typologies the parameter that has the greatest influence on the final numerical equivalent of the envelope is the solar absorptance of external walls of the dwellings. The study contributes to enrichment of the literature on the RTQ-R method of simulation, for dealing with the analysis of a large sample of dwellings, as well as on application of statistical methods to determine the influence of several parameters on the thermoenergetic performance of the dwellings.

Key words: RTQ-R; computational simulation; design of experiment.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Modelo de ENCE para edificações residenciais.	10
Figura 2 – Itens avaliados pelo RTQ-R.....	11
Figura 3 – Fluxograma do método proposto.	27
Figura 4 – Fluxograma do método de avaliação do nível de eficiência energética da envoltória.	32
Figura 5 – Padrão de ocupação fixado pelo RTQ-R.....	34
Figura 6 – Padrão de iluminação fixado pelo RTQ-R.	34
Figura 7 – Etapas do planejamento de experimento fatorial.	42
Figura 8 – Detalhamento sobre o efeito de segunda ordem.	50
Figura 9 – Ocorrência dos tipos de coberturas na amostra.	55
Figura 10 – Indicador de graus hora de resfriamento dos ambientes de permanência prolongada das habitações.	59
Figura 11 – Consumo relativo para resfriamento resultante de todos os ambientes de permanência prolongada de todas as habitações.	62
Figura 12 – Consumo relativo para aquecimento resultante de todos os ambientes de permanência prolongada de todas as habitações.	65
Figura 13 – Distribuição de frequência dos níveis de eficiência energética resultantes para a amostra.	71
Figura 14 – Comparação entre os equivalentes numéricos finais da envoltória das habitações sem avaliação dos pré-requisitos e com avaliação dos pré-requisitos.	71
Figura 15 – Parâmetros mais influentes nos graus hora para resfriamento do ambiente Sala da tipologia representativa do Grupo 3.....	83
Figura 16 – Parâmetros mais influentes no consumo relativo para resfriamento do ambiente Dormitório 1 da tipologia representativa do Grupo 4.....	84
Figura 17 – Parâmetros mais influentes no consumo relativo para aquecimento do ambiente Sala/Cozinha da tipologia representativa do Grupo 1.....	85

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Dados obtidos das características geométricas da envoltória das habitações unifamiliares avaliadas e o método para obtenção de cada dado.	29
Quadro 2 – Dados obtidos das características físicas da envoltória das habitações unifamiliares avaliadas e o método para obtenção de cada dado.	30
Quadro 3 – Critérios para caracterização das habitações que compõem a amostra.	31
Quadro 4 – Parâmetros geométricos e físicos a serem fixados ou variados.	43
Quadro 5 – Os 55 termos avaliados no pós-processamento.	49
Quadro 6 – Componentes encontrados em cada tipo de parede observada.	57
Quadro 7 – Componentes em cada tipo de cobertura encontrada.	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tabela de ANOVA para o modelo de efeitos fixos com três fatores.....	22
Tabela 2 – Equivalente numérico e nível de eficiência energética relacionados aos graus hora para resfriamento para a zona bioclimática 3.....	39
Tabela 3 – Equivalente numérico e nível de eficiência energética relacionados ao consumo para resfriamento para a zona bioclimática 3.....	39
Tabela 4 – Equivalente numérico e nível de eficiência energética relacionados ao consumo para aquecimento para a zona bioclimática 3.....	39
Tabela 5 – Níveis de eficiência energética relativos aos equivalentes numéricos finais da envoltória das habitações.....	42
Tabela 6 – Parâmetros considerados variáveis na análise e seus valores adotados.....	44
Tabela 7 – Propriedades térmicas dos materiais fictícios criados para paredes e coberturas.....	45
Tabela 8 – Configuração dos ambientes de sala da amostra.....	54
Tabela 9 – Quantidade de dormitórios em cada habitação.....	54
Tabela 10 – Caracterização da envoltória das 50 habitações avaliadas.....	56
Tabela 11 – Equivalentes numéricos finais e níveis de eficiência energética da envoltória das habitações.....	69
Tabela 12 – Grupos de tipologias da amostra.....	72
Tabela 13 – Habitações que compõem o Grupo 1.....	73
Tabela 14 – Habitações que compõem o Grupo 2.....	73
Tabela 15 – Habitações que compõem o Grupo 3.....	73
Tabela 16 – Habitações que compõem o Grupo 4.....	74
Tabela 17 – Habitações que compõem o Grupo 5.....	74
Tabela 18 – Limites inferiores e superiores de área para determinação de uma tipologia representativa para cada grupo.....	75
Tabela 19 – Tipologia representativa do Grupo 1.....	76
Tabela 20 – Tipologia representativa do Grupo 2.....	76
Tabela 21 – Tipologia representativa do Grupo 3.....	77
Tabela 22 – Tipologia representativa do Grupo 4.....	77
Tabela 23 – Tipologia representativa do Grupo 5.....	78
Tabela 24 – Os dois parâmetros mais influentes para os resultados de indicadores de graus hora para resfriamento.....	79
Tabela 25 – Os dois parâmetros mais influentes para os resultados de consumo relativo para resfriamento.....	80

Tabela 26 – Os dois parâmetros mais influentes para os resultados de consumo relativo para aquecimento.....	81
Tabela 27 – Parâmetros mais influentes para a tipologia representativa do Grupo 1 - Habitação 41.....	86
Tabela 28 - Parâmetros mais influentes para a tipologia representativa do Grupo 2 - Habitação 45.....	86
Tabela 29 – Parâmetros mais influentes para a tipologia representativa do Grupo 3 - Habitação 27.....	86
Tabela 30 – Parâmetros mais influentes para a tipologia representativa do Grupo 4 – Habitação 37.....	87
Tabela 31 – Parâmetros mais influentes para a tipologia representativa do Grupo 5 – Habitação 4.....	87
Tabela 32 – Variáveis de saída das simulações computacionais para cada ambiente de permanência prolongada das habitações.....	103
Tabela 33 – Avaliação dos pré-requisitos dos ambientes de ventilação natural e iluminação natural.....	109
Tabela 34 – Equivalentes numéricos dos ambientes de permanência prolongada antes e depois da avaliação dos pré-requisitos de iluminação e ventilação natural.....	115
Tabela 35 – Influência dos parâmetros nos graus hora para resfriamento: GRUPO 1 – Habitação 41 – Ambiente Sala/Cozinha.....	121
Tabela 36 – Influência dos parâmetros nos graus hora para resfriamento: GRUPO 1 – Habitação 41 – Ambiente Dormitório 1.....	121
Tabela 37 – Influência dos parâmetros nos consumos relativos para resfriamento: GRUPO 1 – Habitação 41 – Ambiente Sala/Cozinha.....	122
Tabela 38 – Influência dos parâmetros nos consumos relativos para resfriamento: GRUPO 1 – Habitação 41 - Ambiente Dormitório 1.....	122
Tabela 39 – Influência dos parâmetros nos consumos relativos para aquecimento: GRUPO 1 – Habitação 41 - Ambiente Sala/Cozinha.....	122
Tabela 40 – Influência dos parâmetros nos consumos relativos para aquecimento: GRUPO 1 – Habitação 41 - Ambiente Dormitório 1.....	123
Tabela 41 – Influência dos parâmetros nos graus hora para resfriamento: GRUPO 2 – Habitação 45 – Ambiente Sala.....	123
Tabela 42 – Influência dos parâmetros nos graus hora para resfriamento: GRUPO 2 – Habitação 45 – Ambiente Dormitório 1.....	123
Tabela 43 – Influência dos parâmetros nos graus hora para resfriamento: GRUPO 2 – Habitação 45 – Ambiente Dormitório 2.....	124
Tabela 44 – Influência dos parâmetros nos consumos relativos para resfriamento: GRUPO 2 – Habitação 45 – Ambiente Sala.....	124
Tabela 45 – Influência dos parâmetros nos consumos relativos para resfriamento: GRUPO 2 – Habitação 45 – Ambiente Dormitório 1.....	124

Tabela 46 – Influência dos parâmetros nos consumos relativos para resfriamento: GRUPO 2 – Habitação 45 – Ambiente Dormitório 2. ..	125
Tabela 47 – Influência dos parâmetros nos consumos relativos para aquecimento: GRUPO 2 – Habitação 45 – Ambiente Sala.	125
Tabela 48 – Influência dos parâmetros nos consumos relativos para aquecimento: GRUPO 2 – Habitação 45 – Ambiente Dormitório 1. ..	125
Tabela 49 – Influência dos parâmetros nos consumos relativos para aquecimento: GRUPO 2 – Habitação 45 – Ambiente Dormitório 2. ..	126
Tabela 50 – Influência dos parâmetros nos graus hora para resfriamento: GRUPO 3 – Habitação 27 – Ambiente Sala.....	126
Tabela 51 – Influência dos parâmetros nos graus hora para resfriamento: GRUPO 3 – Habitação 27 – Ambiente Dormitório 1.....	126
Tabela 52 – Influência dos parâmetros nos graus hora para resfriamento: GRUPO 3 – Habitação 27 – Ambiente Dormitório 2.....	127
Tabela 53 – Influência dos parâmetros nos consumos relativos para resfriamento: GRUPO 3 – Habitação 27 – Ambiente Sala.	127
Tabela 54 – Influência dos parâmetros nos consumos relativos para resfriamento: GRUPO 3 – Habitação 27 – Ambiente Dormitório 1. ..	127
Tabela 55 – Influência dos parâmetros nos consumos relativos para resfriamento: GRUPO 3 – Habitação 27 – Ambiente Dormitório 2. ..	128
Tabela 56 – Influência dos parâmetros nos consumos relativos para aquecimento: GRUPO 3 – Habitação 27 – Ambiente Sala.	128
Tabela 57 – Influência dos parâmetros nos consumos relativos para aquecimento: GRUPO 3 – Habitação 27 – Ambiente Dormitório 1. ..	128
Tabela 58 – Influência dos parâmetros nos consumos relativos para aquecimento: GRUPO 3 – Habitação 27 – Ambiente Dormitório 2. ..	129
Tabela 59 – Influência dos parâmetros nos graus hora para resfriamento: GRUPO 4 – Habitação 37 – Ambiente Sala/cozinha.	129
Tabela 60 – Influência dos parâmetros nos graus hora para resfriamento: GRUPO 4 – Habitação 37 – Ambiente Dormitório 1.....	129
Tabela 61 – Influência dos parâmetros nos graus hora para resfriamento: GRUPO 4 – Habitação 37 – Ambiente Dormitório 2.....	130
Tabela 62 – Influência dos parâmetros nos graus hora para resfriamento: GRUPO 4 – Habitação 37 – Ambiente Dormitório 3.....	130
Tabela 63 – Influência dos parâmetros nos consumos relativos para resfriamento: GRUPO 4 – Habitação 37 – Ambiente Sala/cozinha.	130
Tabela 64 – Influência dos parâmetros nos consumos relativos para resfriamento: GRUPO 4 – Habitação 37 – Ambiente Dormitório 1. ..	131
Tabela 65 – Influência dos parâmetros nos consumos relativos para resfriamento: GRUPO 4 – Habitação 37 – Ambiente Dormitório 2. ..	131

Tabela 66 – Influência dos parâmetros nos consumos relativos para resfriamento: GRUPO 4 – Habitação 37 – Ambiente Dormitório 3.	131
Tabela 67 – Influência dos parâmetros nos consumos relativos para aquecimento: GRUPO 4 – Habitação 37 – Ambiente Sala/cozinha.	132
Tabela 68 – Influência dos parâmetros nos consumos relativos para aquecimento: GRUPO 4 – Habitação 37 – Ambiente Dormitório 1.	132
Tabela 69 – Influência dos parâmetros nos consumos relativos para aquecimento: GRUPO 4 – Habitação 37 – Ambiente Dormitório 2.	132
Tabela 70 – Influência dos parâmetros nos consumos relativos para aquecimento: GRUPO 4 – Habitação 37 – Ambiente Dormitório 3.	133
Tabela 71 – Influência dos parâmetros nos graus hora para resfriamento: GRUPO 5 – Habitação 4 – Ambiente Sala.	133
Tabela 72 – Influência dos parâmetros nos graus hora para resfriamento: GRUPO 5 – Habitação 4 – Ambiente Dormitório 1.	133
Tabela 73 – Influência dos parâmetros nos graus hora para resfriamento: GRUPO 5 – Habitação 4 – Ambiente Dormitório 2.	134
Tabela 74 – Influência dos parâmetros nos graus hora para resfriamento: GRUPO 5 – Habitação 4 – Ambiente Dormitório 3.	134
Tabela 75 – Influência dos parâmetros nos consumos relativos para resfriamento: GRUPO 5 – Habitação 4 – Ambiente Sala.	134
Tabela 76 – Influência dos parâmetros nos consumos relativos para resfriamento: GRUPO 5 – Habitação 4 – Ambiente Dormitório 1.	135
Tabela 77 – Influência dos parâmetros nos consumos relativos para resfriamento: GRUPO 5 – Habitação 4 – Ambiente Dormitório 2.	135
Tabela 78 – Influência dos parâmetros nos consumos relativos para resfriamento: GRUPO 5 – Habitação 4 – Ambiente Dormitório 3.	135
Tabela 79 – Influência dos parâmetros nos consumos relativos para aquecimento: GRUPO 5 – Habitação 4 – Ambiente Sala.	136
Tabela 80 – Influência dos parâmetros nos consumos relativos para aquecimento: GRUPO 5 – Habitação 4 – Ambiente Dormitório 1.	136
Tabela 81 – Influência dos parâmetros nos consumos relativos para aquecimento: GRUPO 5 – Habitação 4 – Ambiente Dormitório 2.	136
Tabela 82 – Influência dos parâmetros nos consumos relativos para aquecimento: GRUPO 5 – Habitação 4 – Ambiente Dormitório 2.	137

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	OBJETIVOS	4
1.1.1	Objetivo Geral	4
1.1.2	Objetivos Específicos	4
1.2	ESTRUTURA DO TRABALHO	4
2	REVISÃO DE LITERATURA	7
2.1	REGULAMENTAÇÃO ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS	7
2.2	ESTUDOS SOBRE O RTQ-R	10
2.3	PLANEJAMENTO DE EXPERIMENTOS FATORIAIS NA ANÁLISE DE INFLUÊNCIA DE PARÂMETROS VARIÁVEIS	20
2.4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	24
3	MÉTODO	27
3.1	OBTENÇÃO DOS DADOS E CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA	28
3.1.1	Obtenção dos dados	29
3.1.2	Caracterização da amostra	31
3.2	AVALIAÇÃO DO NÍVEL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DA ENVOLTÓRIA PELO MÉTODO DE SIMULAÇÃO DO RTQ-R	31
3.2.1	Modelagem das habitações unifamiliares	32
3.2.2	Configurações da simulação	33
3.2.3	Configuração da ventilação natural e do sistema de condicionamento artificial de ar	35
3.2.4	Tratamento dos dados e obtenção dos equivalentes numéricos da envoltória dos ambientes	37
3.2.5	Pré-requisitos da envoltória	39
3.2.6	Determinação do equivalente numérico da envoltória	40
3.3	PLANEJAMENTO DE EXPERIMENTO FATORIAL	42
3.3.1	Pré-processamento	43
3.3.2	Processamento	46
3.3.3	Pós-processamento	47
4	RESULTADOS	53
4.1	CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA	53
4.1.1	Quanto aos ambientes	53
4.1.2	Quanto à envoltória	54
4.2	NÍVEL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DA ENVOLTÓRIA PELO MÉTODO DE SIMULAÇÃO DO RTQ-R	58

4.2.1	Variáveis de saída da simulação computacional: Graus hora para resfriamento e consumos para aquecimento e resfriamento.....	58
4.2.2	Pré-requisitos para ambientes de permanência prolongada.....	67
4.2.3	Equivalentes numéricos dos ambientes de permanência prolongada antes e depois da avaliação dos pré-requisitos	67
4.2.4	Equivalentes numéricos e níveis de eficiência energética das habitações	68
4.2.5	Considerações finais para a avaliação do nível de eficiência energética da envoltória das habitações pelo método de simulação do RTQ-R	71
4.3	PLANEJAMENTO DE EXPERIMENTO FATORIAL	72
4.3.1	Pré-processamento – Determinação de grupos de tipologias	72
4.3.2	Pré-processamento – Tipologias representativas	74
4.3.3	Pós-processamento – Influência dos parâmetros nas variáveis de saída.....	78
4.3.4	Pós-processamento – Influência dos parâmetros no equivalente numérico final da envoltória	85
5	CONCLUSÕES	89
5.1	LIMITAÇÕES	91
5.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	91
	REFERÊNCIAS.....	93
	APÊNDICE A – RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES	103
	APÊNDICE B – AVALIAÇÃO DOS PRÉ-REQUISITOS DOS AMBIENTES DE VENTILAÇÃO NATURAL E ILUMINAÇÃO NATURAL.....	109
	APÊNDICE C - EQUIVALENTES NUMÉRICOS DOS AMBIENTES DE PERMANÊNCIA PROLONGADA	115
	APÊNDICE D – INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS NAS VARIÁVEIS DE SAÍDA	121

1 INTRODUÇÃO

O mercado imobiliário tem crescido continuamente com a implementação de medidas governamentais, através de investimentos financeiros nas faixas de renda situadas abaixo de cinco salários mínimos. Nessa faixa se concentra 87,6% da demanda habitacional e a grande maioria da população brasileira (IPEA, 2013).

Com a criação do Ministério das Cidades em 2003, a aprovação da Política Nacional de Habitação em 2004, e o lançamento do Programa de Aceleração do Crescimento em 2007, foram desenvolvidos diversos mecanismos e recursos financeiros. Tais mecanismos e recursos foram investidos em infraestrutura urbana, saneamento e obras voltadas para a habitação, visando redução da demanda habitacional brasileira (CNM, 2012).

A quantidade de habitações construídas no Brasil aumentou em 11.651.566 unidades entre os anos 2001 e 2009, e em 2009 a demanda habitacional ainda era estimada em 9.297.241 habitações (CAIXA, 2011). De acordo com as previsões feitas pela empresa *Ernst and Young* (2011), em 2030 o Brasil terá um contingente de mais de 233 milhões de pessoas e cerca de 95,5 milhões de famílias. Estima-se uma média de 2,5 pessoas por moradia, o que significará cerca de 93,1 milhões de habitações – um crescimento de aproximadamente 66% em relação ao ano de 2007.

Com o crescimento da população, aumenta-se a necessidade de serviços e principalmente de edificações. De acordo com a Empresa de Pesquisa Energética (BRASIL, 2013), no ano de 2012, o consumo de energia elétrica do setor residencial brasileiro compreendeu 23,6% do total do país, com um aumento de 41.503GWh entre 2003 e 2012. Por isso, o setor residencial tem sido o foco de diversos estudos e de políticas de eficiência energética, principalmente através de regulamentações, como é feito em outros países (PÉREZ-LOMBARD; ORTIZ; POUT, 2008).

A quantidade de habitações construídas anualmente na busca por reduzir a demanda habitacional tem causado muitas discussões e gerado muitas pesquisas científicas. Além da preocupação com a elevação da demanda de energia, discute-se a qualidade das unidades habitacionais construídas, que seguem praticamente o mesmo padrão, replicadas em todo território nacional, sem levar em consideração as características climáticas locais.

A forma mais adequada para mudar a realidade da atual prática construtiva do setor residencial está relacionada à implementação de

estratégias de projeto para o envelope construtivo e utilização de sistemas eficientes. O conceito de edificações energeticamente eficientes tem como princípios a racionalização de energia elétrica e a promoção do conforto térmico aos moradores, principalmente através da arquitetura bioclimática.

A arquitetura bioclimática leva em consideração as condições climáticas locais durante a concepção do projeto de uma habitação. Durante a elaboração do projeto, são analisadas questões relacionadas à orientação da edificação, às áreas de aberturas para iluminação e ventilação, ao sombreamento das aberturas, às propriedades térmicas dos componentes construtivos, entre outros. Os parâmetros acima citados podem ser classificados como parâmetros físicos ou geométricos, e exercem grande influência sobre o desempenho termoenergético de uma habitação. Os parâmetros geométricos estão relacionados às dimensões de ambientes, aberturas, entre outros. Já os parâmetros físicos estão relacionados às configurações dos componentes e superfícies externas e às suas propriedades térmicas. A determinação equivocada dos parâmetros físicos e geométricos em projeto pode ocasionar a construção de uma habitação termicamente desconfortável e ineficiente. O resultado seria o aumento da demanda energética com equipamentos e sistemas elétricos, seja para ventilação, resfriamento ou aquecimento.

A simulação computacional tem sido um importante instrumento aliado na busca pela eficiência energética em edificações. De acordo com Mendes et al. (2005), através da utilização de programas de simulação é possível avaliar o desempenho termoenergético de uma edificação levando em consideração suas características arquitetônicas e construtivas, bem como os sistemas à ela integrados. Além da avaliação do desempenho da edificação, a simulação é amplamente aplicada na determinação de indicadores de consumo de energia para desenvolvimento e aplicação de normas e regulamentações energéticas.

No Brasil, programas computacionais de simulação termoenergética são amplamente utilizados em centros de pesquisa de universidades e institutos, e há pouca aplicação no desenvolvimento de projetos em escritórios de arquitetura e engenharia (MENDES et al., 2005). Para elaboração de um projeto de edificação eficiente, se faz necessária a otimização de suas características construtivas, através da definição dos principais parâmetros diretamente relacionados à transferência de calor que ocorre entre os meios externo e interno (PACHECO; ORDÓÑEZ; MARTÍNEZ, 2012).

Regulamentações para eficiência energética em edificações são amplamente desenvolvidas e aplicadas, principalmente nos países desenvolvidos, com intuito de guiar as escolhas de estratégias bioclimáticas em edificações e os sistemas que as compõem (OECD, 2003).

Para tanto é necessária a adoção de metodologia para avaliação do nível de eficiência energética das habitações, que auxilie na identificação de possíveis causadores de ineficiência e na pesquisa de estratégias adequadas através de métodos e ferramentas corretas.

No Brasil, o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R) foi desenvolvido como ferramenta para etiquetagem do nível de eficiência energética de edificações residenciais unifamiliares e multifamiliares (BRASIL, 2012). O nível de eficiência é determinado através do cálculo de equivalentes numéricos, que levam em consideração os consumos relativos para aquecimento e resfriamento, e o indicador de graus hora de resfriamento dos ambientes de permanência prolongada das habitações. O RTQ-R propõe dois métodos para classificação do nível de eficiência de edificações residenciais: um método mais preciso aplicado através de simulação computacional, e um método simplificado, aplicado através de equações de regressões múltiplas.

De acordo com Scalco et al. (2012), as regressões múltiplas possuem limitações causadas por incerteza e imprecisão associadas ao próprio método, referentes ao coeficiente de determinação e ao erro padrão. Sendo o método prescritivo elaborado para proporcionar uma forma mais acessível de avaliação da eficiência energética, pode-se afirmar que o método de simulação é o mais adequado para formação de diretrizes de projeto.

Há uma grande escassez de estudos aplicando a regulamentação energética nacional, devido ao fato de ser uma regulamentação voluntária e relativamente nova. E apesar de se conhecer a necessidade de definição dos principais parâmetros influentes na eficiência energética de habitações, os poucos estudos publicados nacionalmente sobre o assunto não realizam análises levando em consideração vários parâmetros simultaneamente. Quando se analisa os parâmetros separadamente despreza-se a influência causada pelas suas combinações.

Tendo em vista a problemática do crescimento populacional e a demanda habitacional existente no país, observa-se a necessidade urgente de busca pela redução da demanda energética do setor residencial, através de uma análise quantitativa e qualitativa dos parâmetros físicos e

geométricos que influenciam na eficiência energética das habitações. Faz-se oportuno o uso da regulamentação nacional de eficiência energética em edificações residenciais, por possibilitar uma análise aprofundada e focada apenas nos parâmetros construtivos da habitação, desconsiderando a influência do uso e da ocupação dos moradores. Levando em consideração a relevância do tema abordado no trabalho, se torna indispensável a aplicação de um método estatístico adequado, que dê confiabilidade aos resultados alcançados pela análise.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho é analisar a influência de parâmetros físicos e geométricos no indicador de graus hora para resfriamento e nos consumos relativos para aquecimento e resfriamento, de diferentes tipologias de edificações residenciais unifamiliares pelo método de simulação do RTQ-R.

1.1.2 Objetivos Específicos

Para o estudo foram definidos três objetivos específicos:

- a) Classificar o nível de eficiência energética da envoltória de uma amostra de 50 habitações pelo método de simulação do RTQ-R;
- b) Analisar a importância da verificação dos pré-requisitos estipulados pelo RTQ-R;
- c) Determinar tipologias representativas para a amostra;
- d) Analisar a influência dos parâmetros físicos e geométricos nos equivalentes numéricos finais para a envoltória das tipologias representativas.

1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho está estruturado em cinco capítulos e contém quatro apêndices.

No primeiro capítulo foi introduzido o assunto abordado pelo estudo, justificando a realização do mesmo, além de expostos os objetivos, geral e específicos, que se pretendeu alcançar.

O segundo capítulo é dividido em quatro partes, onde as três primeiras apresentam uma revisão de literatura dos principais temas abordados no estudo: (1) o histórico básico e a importância das regulamentações energéticas para edificações; (2) o Regulamento

Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R), o documento e os estudos já publicados; (3) e os conceitos básicos e alguns estudos sobre o planejamento de experimentos fatoriais, método estatístico utilizado em grande parte do trabalho. E a última parte encontrada neste capítulo faz uma consideração final sobre os temas abordados na revisão de literatura.

No terceiro capítulo são detalhadamente descritos os métodos aplicados a cada uma das partes do estudo, iniciando com o método para obtenção dos dados e a caracterização da amostra; o método de simulação computacional aplicado para avaliação do nível de eficiência energética das habitações, de acordo com o regulamento nacional; e por fim, os procedimentos para realização da análise estatística para determinação da influência dos parâmetros físicos e geométricos, através de planejamento de experimentos fatoriais.

O quarto capítulo expõe os resultados obtidos a partir da execução do método proposto. O capítulo é dividido em três partes, onde a primeira expõe a caracterização da amostra quanto à configuração dos ambientes que compõem as habitações e quanto às propriedades da envoltória, e ilustra as informações inicialmente coletadas em campo. A segunda parte contém os níveis de eficiência energética da envoltória das habitações, juntamente com todos os resultados parciais encontrados no processo, como os indicadores de graus hora de resfriamento, consumos relativos para aquecimento e resfriamento, equivalentes numéricos, bem como os resultados das análises dos pré-requisitos. A terceira e última parte mostra os resultados encontrados no planejamento de experimento fatorial, composto primeiramente pelos grupos de tipologias construtivas encontrados na amostra e pelas habitações representativas de cada grupo. Por fim, são apresentadas as influências dos parâmetros físicos e geométricos nas variáveis de saída (indicadores de graus hora de resfriamento, consumos relativos para aquecimento e resfriamento) e nos equivalentes numéricos finais para a envoltória de cada uma das habitações representativas.

No quinto capítulo, são apresentadas as conclusões obtidas ao fim do estudo, bem como as limitações encontradas no seu decorrer e as sugestões para futuros trabalhos.

O primeiro apêndice contém os resultados obtidos na simulação computacional das 50 habitações para os dois modelos simulados: considerando apenas ventilação natural e considerando um sistema de condicionamento artificial associado à ventilação natural. Os resultados apresentados são os indicadores de graus hora de resfriamento e os

consumos para aquecimento e resfriamento, para todos os ambientes de permanência prolongada das habitações.

O segundo apêndice apresenta a avaliação dos pré-requisitos de ventilação e iluminação natural, através do cálculo da relação entre a área de abertura para ventilação e iluminação e a área útil de cada ambiente de permanência prolongada.

O terceiro apêndice contém os resultados dos equivalentes numéricos dos ambientes de permanência prolongada, calculados antes e depois da avaliação dos pré-requisitos para comparação entre os resultados.

O quarto e último apêndice mostra os resultados da análise de influência dos parâmetros físicos e geométricos sobre os indicadores de graus hora e sobre os consumos relativos par aquecimento e resfriamento para todos os ambientes de permanência prolongada das habitações representativas para os grupos de tipologias criados.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo são abordadas as principais temáticas do estudo, com uma breve revisão histórica sobre as regulamentações energéticas para edificações, com enfoque em edificações residenciais. Também é apresentado o RTQ-R, sua metodologia de avaliação do nível de eficiência energética da envoltória de habitações unifamiliares, bem como os estudos realizados até o momento sobre o mesmo. Ao fim, são discutidos os métodos estatísticos aplicados ao trabalho e apresentados alguns estudos já realizados que utilizaram esses métodos em análise energética de edificações.

2.1 REGULAMENTAÇÃO ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS

No Brasil, conforme o Plano Nacional de Energia – PNE 2030 (BRASIL, 2007), a partir da constituição da ELETROBRAS com a Lei 3890-A de 25 de abril de 1961, a primeira iniciativa ordenada para promoção do uso eficiente da energia elétrica foi a instituição interministerial do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) em 1985. O PROCEL tem como objetivo promover a racionalização da produção e do uso da energia, visando acabar com o desperdício e reduzir os custos.

Em 1991, o PROCEL se tornou um programa governamental, com isso aumentaram suas responsabilidades e objetivos. Entre suas metas estão o desenvolvimento de programas educacionais e de treinamento; financiamento de projetos de conservação que envolva pesquisa e desenvolvimento; elaboração de estratégias de marketing; instalação e troca de equipamentos ineficientes; e administração da demanda no setor de energia elétrica.

Através de Decreto Presidencial em 8 de dezembro de 1993, o Selo PROCEL foi instituído com intuito de orientar o consumidor, indicando os produtos com melhores níveis de eficiência energética dentro de cada categoria, estimulando a fabricação e a comercialização desses produtos e contribuindo para o desenvolvimento tecnológico no país (ELETROBRAS, 2012).

Parceiro da ELETROBRAS, o Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO), criou a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) através do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE). Por meio da ENCE, é permitido ao

consumidor avaliar o rendimento energético e escolher aquele que irá lhe proporcionar maior economia durante sua utilização. A etiquetagem de equipamentos evidencia o atendimento, ou não, a requisitos mínimos de desempenho, determinados em normas e regulamentos técnicos. A ENCE classifica os equipamentos de “A” (mais eficiente) a “E” (menos eficiente) – em alguns casos até “G”, como as lâmpadas – sendo dado aos equipamentos que apresentam os melhores índices de eficiência energética dentro da sua categoria o Selo PROCEL.

O ano de 2001 foi cenário de marco extremamente importante para a evolução da eficiência energética no Brasil. Em consequência da falta de chuva, houve diminuição dos níveis dos rios que abastecem as hidroelétricas, o que afetou o fornecimento e a distribuição de energia em algumas partes do país. Por esse e outros motivos, em 19 de dezembro de 2001, ocorreu a aprovação do Decreto nº 4.059 (BRASIL, 2001a) que regulamenta a Lei nº 10.295 (BRASIL, 2001b), que tramitava no Congresso Nacional desde 1990. A “Lei de Eficiência Energética” foi elaborada considerando a necessidade de se estabelecer níveis máximos de consumo de energia – ou mínimos de eficiência energética – para equipamentos fabricados ou comercializados no país, e também para edificações construídas.

Com a aprovação do Decreto 4.059 foi estabelecido o Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética - CGIEE, que é composto por representantes do Ministério de Minas e Energia; Ministério da Ciência e Tecnologia; Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior; Agência Nacional de Energia Elétrica; Agência Nacional do Petróleo; um representante de universidade e um cidadão brasileiro. Compete ao CGIEE implementar a aplicação da Lei nº 10.295; elaborar regulamentação para edificações e para cada tipo de equipamento consumidor de energia, e estabelecer um Programa de Metas para evolução do nível de eficiência dos mesmos; avaliar o processo de regulamentação e propor plano de fiscalização; constituir Comitês Técnicos para realizar estudos específicos propostos pelo CGIEE; e decidir sobre as propostas do Grupo Técnico para Eficientização de Energia em Edificações (GT Edificações), que é responsável pelas portarias para eficiência energética das edificações.

Em 2003, o Programa Nacional de Eficiência Energética em Edificações, o PROCEL EDIFICA, foi instituído pela ELETROBRAS/PROCEL com objetivo de incentivar a conservação e o uso eficiente dos recursos naturais nas edificações, reduzindo os desperdícios e os impactos sobre o meio ambiente (ELETROBRAS,

2012). A exemplo do que já ocorria com eletrodomésticos, o PBE Edifica iniciou a etiquetagem voluntária de projetos que preveem redução de consumo e maior uso de energias alternativas. O objetivo da etiqueta é estimular as construtoras e incorporadoras a aderirem os conceitos de eficiência energética em edificações, viabilizando a implementação da Lei de Eficiência Energética (MOREIRA et al., 2009).

A etiquetagem de edificações comerciais, de serviços e públicas e de edificações residenciais ocorre de forma diferenciada. Os Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) foram inicialmente aprovados pela Portaria nº 53, de 29 de janeiro de 2009, que foi revogada no mesmo ano pela Portaria nº 163 e pela Portaria nº 372, em setembro de 2010. Atualmente, estão em vigor duas portarias complementares: Portaria nº 17, de 16 de janeiro de 2012 e Portaria nº 229, de 19 de junho de 2013. O RTQ-C tem como objetivo criar condições para a etiquetagem do nível de eficiência energética em edifícios comerciais, de serviço e públicos (BRASIL, 2010). Já o Regulamento Técnico da Qualidade para o nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R) foi aprovado pela Portaria nº 449, de 25 de novembro de 2010 e substituído pela Portaria nº 18, de 16 de janeiro de 2012. O RTQ-R foi elaborado visando a etiquetagem do nível de eficiência energética em edificações residenciais unifamiliares, multifamiliares e áreas de uso comum (BRASIL, 2012). A Figura 1 ilustra um modelo atual de ENCE para edificações residenciais unifamiliares e apartamentos etiquetados através do RTQ-R.

Para ambos os RTQs, a etiqueta pode ser concedida na fase de projeto e para o edifício construído. E a avaliação pode ser realizada tanto pelo método prescritivo quanto pelo método de simulação.

Nos edifícios comerciais, de serviços e públicos é avaliada a envoltória e os sistemas de iluminação e condicionamento de ar. Nas edificações residenciais é avaliada a envoltória e o sistema de aquecimento de água (além dos sistemas presentes nas áreas comuns dos edifícios multifamiliares).

De acordo com Araujo (2009), a etiquetagem, quando obrigatória, será um forte instrumento de mudança no mercado, agregando valor aos empreendimentos que se diferenciam dos convencionais através de uma classificação atribuída por uma regulamentação de um órgão governamental.

Figura 1 – Modelo de ENCE para edificações residenciais.

INMETRO
PBE Edifica

Eficiência Energética
Unidade Habitacional Autônoma

Edificação: XXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXXX
 Identificação da unidade: XXXXXX
 Endereço: XXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXXX
 Cidade/UF: XXXXXX
 Zona bioclimática: X
 Orientação principal da unidade: XXXXX
 Portaria RTQ-R: XXXXXX
 Portaria RAC: XXXXXX
 Método de avaliação: XXXXXX
 Data da ENCE de projeto: XXXXXXXXXX

☒ Etiqueta PROJETO
☐ Etiqueta EDIFICAÇÃO CONSTRUÍDA

Mais eficiente
A
B
C
D
E
 Menos eficiente

A
PT: X,XX

O nível de eficiência energética alcançado deve ser confirmado pela ETIQUETA DA EDIFICAÇÃO CONSTRUÍDA

Pré-requisitos gerais
 - Medição individualizada de energia
 - Medição individualizada de água

Bonificações: X,XX
 - Ventilação natural: x,xx
 - Iluminação natural: x,xx
 - Uso racional de água: x,xx
 - Condicionamento artificial de ar: x,xx
 - Iluminação artificial: x,xx
 - Ventiladores de teto: x,xx
 - Refrigeradores: x,xx
 - Medição individualizada: x,xx

Envoltória para Verão
A

Envoltória para Inverno
A

Aquecimento de Água
A

Envoltória caso condicionada artificialmente: C

Observações:
 1 - A Etiqueta de Projeto tem validade de 5 anos ou até a conclusão da construção da edificação.
 2 - Para verificar a validade da etiqueta consulte a página eletrônica do INMETRO: www.inmetro.gov.br

PROCEL
PROGRAMA BRASILEIRO DE ETIQUETAGEM

LOGOMARCA DO DIA
 Nº REGISTRO DO DIA

Fonte: pbeedifica.com.br

2.2 ESTUDOS SOBRE O RTQ-R

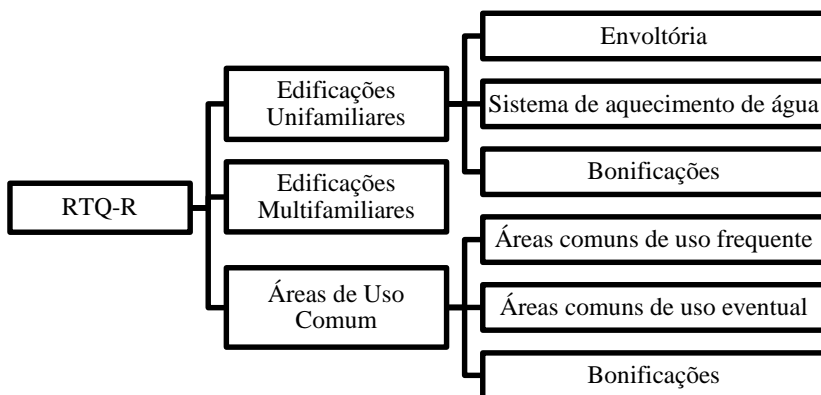
Este item tem como escopo o conteúdo básico encontrado no documento do RTQ-R, bem como os estudos já publicados até o presente momento sobre aplicação e discussão do seu método e dos resultados encontrados pelos autores.

A classificação do nível de eficiência energética pelo RTQ-R pode ser realizada para edificações unifamiliares e multifamiliares, e áreas de uso comum, conforme indicado na Figura 2. As edificações unifamiliares

são aquelas que possuem apenas uma unidade habitacional autônoma dentro do lote. Já as edificações multifamiliares são aquelas onde há mais de uma unidade habitacional em um mesmo lote, formando um condomínio, podendo ser edifício de apartamentos ou agrupamento de edificações. As áreas de uso comum são caracterizadas pelos ambientes de uso coletivo de edificações multifamiliares ou de condomínios de edificações residenciais.

A eficiência energética de uma habitação unifamiliar é determinada pela eficiência de sua envoltória, de seu sistema de aquecimento de água e por bonificações. A eficiência energética da envoltória das habitações é avaliada através de seu desempenho termoenergético, calculado através do indicador de graus hora para resfriamento e dos consumos relativos para aquecimento e resfriamento.

Figura 2 – Itens avaliados pelo RTQ-R.



Fonte: Adaptado de Brasil, 2012.

A avaliação do desempenho termoenergético da envoltória de uma unidade habitacional pode ser realizada através da aplicação de dois métodos: prescritivo ou de simulação. Para ambos os métodos é necessária a verificação dos pré-requisitos determinados no documento, que avaliam propriedades termofísicas como a transmitância térmica, a capacidade térmica e a absorptância solar das superfícies, como também a ventilação natural e a iluminação natural.

No método de simulação, o desempenho da envoltória é determinado através de simulação termoenergética computacional, onde é modelada a geometria da habitação e são realizadas simulações para duas condições: para a habitação quando naturalmente ventilada e outra

quando condicionada artificialmente. O RTQ-R fixa algumas configurações para simulação, como os padrões de ocupação e de iluminação, e as cargas internas de equipamentos. A fixação de valores possibilita a comparação de equivalentes numéricos resultantes das simulações das habitações com valores de referência estipulados pelo regulamento.

No método prescritivo, o desempenho termoenergético da envoltória da habitação é determinado pelo Equivalente Numérico, calculado através de equações de regressão múltipla para a zona bioclimática na qual a edificação está localizada, de acordo com a NBR 15220-3 (ABNT, 2005b). As equações de regressão multivariadas foram determinadas através do método de simulação computacional, ou seja, também estão fixados os padrões de ocupação e de iluminação, as cargas internas de equipamentos e outras configurações.

Para ambos os métodos, a pontuação final alcançada pela unidade habitacional é referente à eficiência da mesma quando naturalmente ventilada, sendo que o nível de eficiência da envoltória quando condicionada artificialmente é apenas de caráter informativo.

O RTQ-R propõe método para avaliação do sistema de aquecimento de água e método para cálculo de bonificações, pela incorporação de iniciativas eficientes nas habitações unifamiliares e multifamiliares. Como não são assuntos de interesse para este trabalho, não foram abordados na revisão de literatura.

O método utilizado no desenvolvimento da base de simulações, o desenvolvimento das equações do método prescritivo e o desenvolvimento do texto no RTQ-R podem ser encontrados em relatórios técnicos respectivamente desenvolvidos por Sorgato (2011), Versage (2011) e Fossati (2011), disponibilizados através do site <labeee.ufsc.br>.

Até o momento, existem poucos estudos publicados que tratam sobre o RTQ-R, por ser uma regulamentação voluntária e relativamente nova. Neste item, serão descritos todos os trabalhos encontrados sobre o assunto, publicações de revistas, anais de congressos e algumas dissertações.

Knaap (2011) analisou a sensibilidade global de 23 parâmetros utilizados pelo método de simulação e oito pelo método prescritivo do RTQ-R, visando uma comparação entre os resultados alcançados pelos dois métodos. As análises foram aplicadas em dois tipos de edificações residenciais localizados em Florianópolis, Santa Catarina, na zona bioclimática 3. Foram avaliadas três habitações unifamiliares com

diferentes áreas e 20 apartamentos que compõem um edifício vertical. Os resultados alcançados demonstraram que para o método prescritivo, a capacidade térmica do envelope apresentou alta influência, enquanto que para a simulação, outros parâmetros foram mais influentes. Na comparação entre os métodos, o autor afirma que o método prescritivo subestima a eficiência da ventilação natural das edificações e superestima a eficiência de edificações condicionadas artificialmente.

Bottamedi (2011) avaliou a eficiência energética de hotéis de quatro estrelas em Florianópolis. O método aplicado consistiu na realização de levantamento de campo das características construtivas mais representativas do setor, bem como suas características de funcionamento e operação. Para avaliação do nível de eficiência energética das edificações, a autora aplicou os métodos de simulação e prescritivos encontrados em ambos regulamentos, RTQ-C e RTQ-R, com intuito de comparação entre os métodos. A autora destaca que apenas os apartamentos foram avaliados como unidades habitacionais, os demais ambientes do hotel não podem ser considerados na avaliação pelo RTQ-R. Os resultados encontrados através da simulação computacional apresentaram melhor desempenho. A autora realizou uma análise da influência dos parâmetros construtivos, variando-os um por vez, e observou que a variação dos parâmetros pode influenciar em até 9% o consumo de energia da edificação. Os parâmetros mais influentes foram os elementos de sombreamento vertical e a absorvância solar das paredes.

Alves (2012) elaborou uma proposta de uma edificação residencial multifamiliar em Parnamirim/RN, com nível de eficiência energética “A” pelo método prescritivo do RTQ-R e atendendo aos critérios do programa governamental “Minha Casa, Minha Vida”. A proposta de projeto foi elaborada baseada em conceitos de precedentes arquitetônicos e revisão de literatura. Os resultados alcançados pelo autor demonstram a possibilidade de se obter uma edificação que atenda as restrições do programa habitacional e que proporcione eficiência energética nível “A”.

Alves, Pedrini e Lima (2012) analisaram a eficiência energética de edificações na zona bioclimática 8, mais especificamente na cidade de Parnamirim, no Rio Grande do Norte. Através de análise da equação de determinação dos graus hora de resfriamento de acordo com o método prescritivo do RTQ-R, os autores identificaram quais dos parâmetros são os mais influentes. Dentre os parâmetros analisados, os mais influentes foram os dispositivos de sombreamento, as propriedades térmicas das paredes e da cobertura, o fator relativo à ventilação, as dimensões internas do ambiente e as áreas das paredes externas voltadas para leste ou oeste.

A partir da determinação dos parâmetros, os autores elaboraram diretrizes de projeto e aplicaram a uma proposta arquitetônica de um residencial multifamiliar inserido no programa “Minha Casa Minha Vida”. A classificação do nível de eficiência energética da envoltória da edificação resultou em “A”, sendo que foram atendidos os pré-requisitos da envoltória. Os autores concluíram o estudo afirmando que a proposta de diretrizes de projeto é um possível recurso para concepção de uma edificação energeticamente eficiente e que possui potencial para uso profissional na construção civil, pois se trata de parâmetros práticos.

Em outro estudo, Lima, Pedrini e Alves (2012) verificaram o desempenho térmico da residência modelo do Programa Social da Habitação, implantada no município de Parnamirim, no Rio Grande do Norte (zona bioclimática 8). O método aplicado consistiu em simulação computacional pelo programa *DesignBuilder*. Foram realizadas simulações considerando as informações projetuais da residência modelo, bem como simulações paramétricas com a finalidade de se verificar o impacto de diferentes alternativas de projeto no desempenho térmico. O resultado dos graus hora de resfriamento para o caso base foi nível “E”; e entre as alternativas de projeto, a que apresentou maior impacto foi a utilização de absorvância mais baixa na cobertura, atingindo nível “B”. Os autores concluíram que o método de simulação do RTQ-R comprovou o baixo desempenho térmico da casa modelo utilizada no projeto municipal de habitação e a necessidade de se rever sua concepção arquitetônica.

Oliveira (2012) realizou uma análise dos valores limites de transmitância térmica, atraso térmico e fator de calor solar recomendados pela NBR 15220-3, para habitações de interesse social. Os valores analisados foram para fechamentos verticais e horizontais, para a zona bioclimática 2. No método o autor verificou o conforto térmico e a eficiência energética através de simulação computacional pelo RTQ-R. A análise dos resultados indicou que não se justificam os limites estabelecidos pela NBR 15220-3 para as variáveis de atraso térmico e fator de calor solar, quando avaliados pelos índices de conforto térmico obtidos com as simulações. O autor verificou que, tanto o aumento do atraso térmico quanto da absorvância solar são benéficos para o conforto térmico no interior da edificação ao longo do ano na zona bioclimática 2, onde predominam as situações de desconforto no inverno.

Pouey, Brandalise e Silva (2012) realizaram uma comparação entre resultados obtidos a partir da aplicação dos dois métodos de avaliação da eficiência energética da envoltória do RTQ-R para as características da cidade de Pelotas, no estado do Rio Grande do Sul, localizada na zona

bioclimática 2. Os métodos prescritivo e de simulação foram aplicados para um projeto de residência unifamiliar, que foi elaborado a partir de conceitos de bioclimatologia, considerando apenas a ventilação natural. Os resultados obtidos pelos dois métodos não indicaram discordância em relação ao equivalente numérico da envoltória para aquecimento. Para resfriamento, porém, os equivalentes numéricos resultantes da aplicação do método prescritivo obtiveram níveis muito inferiores aos dos obtidos pelo método de simulação. Como conclusão, os autores observaram a dificuldade da aplicação do método prescritivo para habitações que possuam em seus projetos, estratégias bioclimáticas avançadas, pois estas não são identificadas pelas equações do método prescritivo.

Marin e Amorim (2012) avaliaram o desempenho térmico da envoltória de duas residências unifamiliares localizadas em Antônio Prado, no estado do Rio Grande do Sul (zona bioclimática 1), através da aplicação do método prescritivo do RTQ-R. As autoras compararam os resultados provenientes da avaliação das duas casas, sendo uma de arquitetura vernácula (sobrado construído parte em alvenaria e parte em madeira) e uma de arquitetura contemporânea (edificação térrea, parte em contato com solo e parte em balanço, com uma das fachadas completamente envidraçada). Como resultado, as autoras verificaram que o desempenho energético da envoltória da casa de arquitetura contemporânea, é superior ao da casa de arquitetura vernácula, o que contrariou o resultado que era esperado. O resultado inesperado foi atribuído à existência dos ambientes anexos em madeira à edificação vernácula e também pela ampla ventilação e iluminação natural encontradas na edificação contemporânea.

Nogueira et al. (2012) analisaram a envoltória de uma residência unifamiliar localizada em Maceió, no estado de Alagoas, situada na zona bioclimática 8. Os autores determinaram o nível de eficiência energética da envoltória da residência pelo método prescritivo do RTQ-R e investigaram o efeito de diferentes combinações de componentes construtivos e soluções de ventilação na residência. Os parâmetros contabilizados no cálculo do nível de eficiência energética pelo RTQ-R foram variados (um por vez) em diferentes níveis a fim de se identificar o impacto dos mesmos nos resultados da envoltória de um ambiente de permanência prolongada (sala de estar-jantar). Foi constatado que os parâmetros físicos, como a absorvância solar da cobertura, são mais importantes nos graus hora de resfriamento do que o tamanho das aberturas para ventilação. Os autores concluem o estudo afirmando a

necessidade do método prescritivo dar maior ênfase aos aspectos relacionados à ventilação natural.

Albuquerque e Amorim (2012) verificaram a influência da profundidade do ambiente e das proteções solares no comportamento da luz natural em residências, através de simulação computacional no programa *DaySim*. As simulações foram realizadas para 11 cidades brasileiras, localizadas em quatro zonas bioclimáticas diferentes (1, 3, 4 e 8). Os resultados geraram indicações sobre a profundidade limite de ambientes, que foram adotadas nos cálculos de bonificação de iluminação natural no RTQ-R.

Matos (2012) investigou o desempenho energético da envoltória de edifícios residenciais verticais localizadas em Natal, capital do estado do Rio Grande do Norte, pertencente à zona bioclimática 8. A autora realizou levantamento de dados de 22 edificações, determinou suas tipologias representativas e classificou o nível de eficiência energética das envoltórias das mesmas de acordo com o método prescritivo do RTQ-R. Para avaliar a influência dos parâmetros no desempenho da envoltória, foram realizadas análises paramétricas para as variáveis: forma do pavimento tipo; distribuição dos ambientes na habitação; orientação da edificação; área e sombreamento das aberturas; transmitância térmica; e absorptância solar dos materiais opacos da fachada. Pelos resultados obtidos, a autora concluiu que algumas das soluções encontradas na análise foram contrárias às recomendações de literatura relativas ao conforto ambiental no clima analisado.

Almeida et al. (2013) avaliaram a eficiência energética da envoltória de 22 habitações de interesse social localizadas em Florianópolis, no estado de Santa Catarina, situadas na zona bioclimática 3. Os dados foram coletados por meio de auditorias e aplicação de questionários. Foram coletadas informações sobre as características físicas, térmicas e geométricas das habitações. A classificação dos níveis de eficiência energética foi realizada através do método prescritivo do RTQ-R, bem como aplicação dos pré-requisitos da envoltória dos ambientes e da envoltória das habitações. A classificação final predominante da envoltória das habitações foi nível “D”, atingindo no máximo nível “C”. Os autores observaram que o indicador de graus hora para resfriamento foi o requisito mais rigoroso, fazendo com que a maior parte das habitações atingisse nível “E” e que o não atendimento aos pré-requisitos da cobertura (transmitância térmica) pode ser a causa do baixo desempenho das habitações.

Silva, Almeida e Ghisi (2013) compararam a eficiência energética da envoltória de cinco habitações de interesse social localizadas em Florianópolis. Foram aplicados o método prescritivo e o método de simulação com dois arquivos climáticos, TMY e TRY. Os autores compararam os níveis de eficiência de cada ambiente de cada tipologia através dos resultados de graus hora para resfriamento e dos consumos para aquecimento e resfriamento. Os resultados mostraram que as classificações resultantes dos métodos não atingem os mesmos níveis na maior parte dos casos. Para os graus hora de resfriamento, a simulação com o arquivo TMY resultou em níveis de eficiência muito inferiores aos demais métodos. Para o consumo relativo com aquecimento, o método prescritivo sempre apresentou níveis satisfatórios, enquanto as simulações apresentaram piores níveis (D e E). Já para o consumo relativo com resfriamento, os níveis obtidos com os métodos foram próximos, mas não idênticos. De acordo com os autores, no que diz respeito ao método prescritivo, a regressão linear (por ser um método aproximado) não conseguiu explicar a maior parte das simulações no desenvolvimento do método do RTQ-R, principalmente no caso do consumo para aquecimento.

Silva e Ghisi (2013) analisaram a sensibilidade global de parâmetros termofísicos na simulação de uma edificação residencial na cidade de Florianópolis pelo RTQ-R. A análise de sensibilidade foi realizada a partir da variação dos níveis de quinze parâmetros, gerando 500 simulações aleatórias. As influências foram analisadas para os resultados de graus hora de resfriamento, consumo relativo para aquecimento e para resfriamento, chamadas variáveis dependentes. Os resultados obtidos pelo estudo indicaram parâmetros mais influentes diferentes para cada variável dependente, dificultando a elaboração de uma proposta para melhoria de desempenho que atendam às condições de verão e inverno simultaneamente. Os autores concluem o estudo declarando que a absorptância solar e a emissividade da cobertura foram, para este caso, os parâmetros mais influentes em geral.

O estudo de Oliveira, Souza e Silva (2013) teve por objetivo apresentar de forma simplificada os parâmetros de desempenho térmico solicitados pelas principais normas e regulamentos brasileiros. O intuito era verificar os valores mínimos comuns na legislação nacional para edificações residenciais, pela NBR 15220, NBR 15575, Selo Casa Azul e RTQ-R. O método foi composto pela análise comparativa detalhada dos documentos e elaboração de tabelas a fim de se verificar as diferenças e as semelhanças encontradas nos quesitos de propriedades térmicas de

paredes e coberturas, ventilação natural, ventilação cruzada e iluminação natural. Os resultados alcançados pelo confronto das normas apontam divergências em vários itens. Os autores concluem o estudo afirmando a necessidade de uma uniformização das exigências para facilitar a aplicação das normas.

Donadello, Nico-Rodrigues e Alvarez (2013) realizaram uma análise comparativa do desempenho térmico de sistemas de vedação vertical pelo método de simulação do RTQ-R. O objeto de estudo foi um ambiente de dormitório de uma edificação residencial localizada na Ilha da Trindade, distante cerca de 1.200 km de Vitória – ES. Os sistemas construtivos avaliados foram de madeira e de concreto-PVC, que é formado por painéis verticais de PVC extrudados, encaixados por guias e preenchidos com concreto. Os autores simularam a envoltória do ambiente pelo programa *DesignBuilder* considerando apenas ventilação natural. Através dos resultados da comparação entre os dois materiais pesquisados, os autores observaram que o concreto-PVC apresentou uma média anual de somatório de graus hora 2,53% inferior à média da envoltória em madeira. A conclusão alcançada foi que, apesar do concreto-PVC ter apresentado um resultado discretamente melhor que o da madeira, a diferença de desempenho térmico entre os dois sistemas não foi considerada significativa, pois ambos atingiram nível “D” pelo RTQ-R.

Pacheco et al. (2013) analisaram a aplicação de recomendações bioclimáticas em projeto para dormitórios de um hotel localizado em Tibau do Sul, no Rio Grande do Norte. A determinação das estratégias foi baseada em recomendações encontradas na norma NBR 15220, no RTQ-R e em bibliografia. Os autores avaliaram o desempenho termoeenergético da edificação através da realização de diferentes simulações computacionais no projeto, com o uso do programa *DesignBuilder*. A avaliação da distribuição da iluminação natural foi realizada através do programa RELUX PRO, e o fluxo da ventilação natural, com o auxílio da ferramenta CFC do programa *DesignBuilder*. Os resultados obtidos comprovaram a hipótese dos autores, que quando o projeto obedece às recomendações bioclimáticas para o local onde será implantado, apresentará redução do consumo energético, da temperatura operativa, e aumento das horas de conforto. O nível de classificação resultante do projeto foi “A” pelo RTQ-R. Os autores concluíram que o bom resultado apontado pelo estudo está relacionado com a utilização de elementos de sombreamento e a ventilação natural, aliados a materiais de vedação leves e refletos.

O estudo de Triana e Lamberts (2013) teve como objetivo mostrar a melhora alcançada na aplicação de soluções propostas ao projeto de 36 m² da COHAB SC, em termos de desempenho térmico, uso racional de energia, e custo de implantação. O método aplicado foi dividido em três etapas: nas propostas de melhorias de desempenho térmico do projeto através da incorporação de diretrizes da NBR 15220-3, de desempenho do sistema de aquecimento solar para água, e no comparativo de custos de implantação das propostas. A comparação entre os resultados das estratégias foi realizada considerando o parâmetro de graus hora, determinado pelo método de simulação do RTQ-R. Os resultados indicaram que o uso de isolamento e baixa absorvância solar na cobertura reflete em um desempenho melhor do que a alternativa que proporciona maior ventilação natural por meio do aumento da área de abertura e sombreamento, com variação de até 64% nos resultados de graus hora.

Torres e Adelino (2013) analisaram a influência das dimensões das aberturas na distribuição da luz natural para um dormitório com base no RTQ-R. O objeto de estudo foi um dormitório com área de 16 m², localizado em Maceió, no Estado de Alagoas. Foram propostos três diferentes arranjos de abertura com área proporcional a 1/8 da área do piso, para avaliar a distribuição e a quantidade de iluminância através de simulação computacional utilizando o programa TropLux. Os resultados obtidos com a simulação dos três modelos de aberturas identificaram valores de iluminância maiores do que o exigido para um dormitório de acordo com a NBR 5413, tanto em relação a orientação norte, quanto a orientação sul. Os autores analisaram os resultados por meio de gráficos isocurvas para auxiliar a comparação da distribuição das iluminâncias internas para os diferentes modelos de abertura. Como conclusão obteve-se que apenas a área mínima da abertura recomendada pelo RTQ-R não é capaz de definir um bom desempenho luminoso do ambiente, e que o uso de estratégias passivas podem auxiliar na obtenção de um desempenho luminoso favorável no ambiente.

Silva e Ghisi (2014) compararam os resultados de desempenho térmico da envoltória de uma edificação residencial obtidos pelos métodos de simulação do RTQ-R e da NBR 15575-1, através do programa EnergyPlus, para o clima de Florianópolis. Os autores definiram uma tipologia fictícia como objeto de estudo e construíram seis grupos de simulações, sendo dois grupos referentes às simulações pelo método do RTQ-R e quatro relativas à NBR 15575-1, cada um com 500 simulações. Os autores determinaram três cenários de análise para possibilitar a comparação entre os níveis de desempenho resultantes através da

aplicação dos dois métodos. Através dos resultados das análises em cada cenário os autores identificaram semelhança entre os métodos de simulação, porém, através das comparações realizadas, dois entre os três cenários indicaram que grande parte dos casos não concordam no nível de desempenho alcançado. Os autores concluem que o RTQ-R possui um método de avaliação mais amplo e completo, e que deve ser dada mais atenção às tabelas de classificação dos métodos, que podem ser as causas de algumas das discordâncias.

A partir da revisão dos estudos já publicados sobre o RTQ-R, pode-se confirmar a existência das limitações associadas ao método prescritivo do RTQ-R, principalmente em relação à ventilação natural e cruzada nas habitações. Observa-se também a importância da utilização da regulamentação, seja como método de avaliação do nível de eficiência de uma habitação, como método de comparação entre os níveis de várias habitações, ou como base para aperfeiçoamento do desempenho termoenergético de projetos de habitações por simulação computacional.

2.3 PLANEJAMENTO DE EXPERIMENTOS FATORIAIS NA ANÁLISE DE INFLUÊNCIA DE PARÂMETROS VARIÁVEIS

Nos estudos relacionados à eficiência energética em edificações, os programas de simulação computacional são utilizados como ferramenta importante para realização de diversas análises. A simulação computacional auxilia em processos de otimização do desempenho termoenergético de edificações, na calibração do modelo de simulação para proposição de soluções específicas para *retrofit*, e em desenvolvimento de projetos de edificações eficientes, com base em regulamentações ou certificações.

Muitos estudos brasileiros publicados relacionados com otimização do desempenho termoenergético e da eficiência energética de edificações, se baseiam no princípio “e se”. De acordo com Hopfe e Hensen (2011), o método aplicado a essas análises constitui na definição de níveis de valores para *n* parâmetros de entrada analisados, que são variados um por vez. Os resultados permitem identificar a influência da variação dos valores de entrada de cada parâmetro nos valores de saída. A desvantagem do método é a impossibilidade de análise da influência de dois ou mais parâmetros combinados.

Atualmente, existem diversos métodos estatísticos aplicáveis ao estudo de eficiência energética de edificações, entre eles a análise de sensibilidade, que se subdivide em análise local ou global (TIAN, 2013).

Dentro da análise global encontra-se o “*Design of Experiments*” (Planejamento de experimentos), que foi aplicado neste estudo.

Segundo Saltelli, Tarantola e Chan (1999), em um planejamento de experimentos, ao variar os parâmetros em níveis predefinidos, e processando o modelo em uma amostragem multivariada de fatores, é possível obter os efeitos individuais de cada parâmetro. Também podem ser obtidos os efeitos causados por interações entre os parâmetros, de segunda ordem ou maiores. Planejamentos de experimentos são usados a fim de se aproximar a relação matemática entre diferentes fatores de entrada que afetem um processo e os dados de saída do mesmo processo.

Apesar de ser inicialmente aplicado a experimentos laboratoriais, o método foi estendido e largamente usado em análises computacionais, sendo, provavelmente a origem dos modelos computacionais de análise de sensibilidade (FÜRBRINGER; ROULET, 1995).

Em um planejamento fatorial, a cada tentativa completa ou réplica de experimento, todas as combinações possíveis dos níveis dos fatores são investigadas. A vantagem de se aplicar um experimento fatorial é que o mesmo permite detectar uma interação entre os fatores. De acordo com Green (1976), a análise fatorial é comumente chamada de análise multivariada e é empregada quando há interesse de se conhecer o comportamento de uma variável ou grupos de variáveis em covariação entre si.

Um planejamento de experimento fatorial consiste basicamente em três fases, pré-processamento, processamento e pós-processamento. O pré-processamento consiste na determinação dos fatores a serem analisados e seus níveis, que são especificamente escolhidos e inferências se restringem apenas a esses níveis. Após determinados os fatores, os níveis são fatorialmente combinados, por exemplo, se existem A e B fatores, ‘a’ níveis no fator A e ‘b’ níveis no fator B, o experimento investigará todas as ‘a’ × ‘b’ combinações. O processamento consiste na aplicação dos dados de entrada, seja um experimento físico ou numérico, que obterá os dados de saída. E, por fim, o pós-processamento que consiste na análise estatística dos dados de saída, no caso, a análise de variância (ANOVA).

A abordagem da ANOVA permite contabilizar a contribuição de cada valor de entrada na variação observada nos dados de saída, ou seja, na dispersão dos resultados. O método consiste na decomposição da variação resultante em basicamente três fatores: o fator de primeira ordem, que representa a influência de um parâmetro específico na variação resultante; o fator de segunda ordem, que é a interação dos

efeitos causados pela combinação de dois parâmetros; analogamente ao fator de segunda ordem há também o fator de terceira ordem (MINITAB INC., 2007).

A Tabela 1 representa um padrão de ANOVA para o modelo de efeitos fixos com três fatores (A, B e C). O modelo contém três efeitos principais, três interações de segunda ordem, uma interação de terceira ordem e um termo de erro. O modelo pode ser estendido para análises com mais de três fatores (MONTGOMERY; RUNGER, 2012). A influência dos fatores e das combinações entre os fatores se dá pela análise do valor F_0 , sendo que a ordem de influência é proporcional à ordem do valor F_0 .

Tabela 1 – Tabela de ANOVA para o modelo de efeitos fixos com três fatores.

Fonte de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Média quadrática	Valor esperado da média quadrática	F_0
A	SQ_A	a-1	MQ_A	$\sigma^2 + \frac{bcn \sum \tau_i^2}{a-1}$	$\frac{MQ_A}{MQ_E}$
B	SQ_B	b-1	MQ_B	$\sigma^2 + \frac{acn \sum \beta_i^2}{b-1}$	$\frac{MQ_B}{MQ_E}$
C	SQ_C	c-1	MQ_C	$\sigma^2 + \frac{abn \sum \gamma_i^2}{c-1}$	$\frac{MQ_C}{MQ_E}$
AB	SQ_{AB}	(a-1)(b-1)	MQ_{AB}	$\sigma^2 + \frac{bcn \sum \tau_i^2}{a-1}$	$\frac{MQ_{AB}}{MQ_E}$
AC	SQ_{AC}	(a-1)(c-1)	MQ_{AC}	$\sigma^2 + \frac{acn \sum \beta_i^2}{b-1}$	$\frac{MQ_{AC}}{MQ_E}$
BC	SQ_{BC}	(b-1)(c-1)	MQ_{BC}	$\sigma^2 + \frac{bcn \sum \tau_i^2}{a-1}$	$\frac{MQ_{BC}}{MQ_E}$
ABC	SQ_{ABC}	(a-1)(b-1)(c-1)	MQ_{ABC}	$\sigma^2 + \frac{n \sum \sum \sum (\tau\beta\gamma)_{ijk}^2}{(a-1)(b-1)(c-1)}$	$\frac{MQ_{ABC}}{MQ_E}$
Erro	SQ_E	abc(n-1)	MQ_E	σ^2	
Total	SQ_T	abcn-1			

Fonte: Montgomery e Runger, 2012.

A seguir são relatados alguns estudos encontrados na literatura internacional que aplicaram o método de planejamento de experimentos para diversas análises da influência de parâmetros construtivos variáveis.

Mara e Tarantola (2008) empregaram a ANOVA para melhor compreensão do comportamento de uma célula teste real de edificação,

construída para validação de modelo. Através dos valores de dez variáveis de saída das simulações, os autores encontraram a influência causada pela variação de 35 parâmetros, em dois níveis cada. Como resultado, os autores verificaram que a absorvância solar das superfícies externas foi o parâmetro mais influente das 35 variáveis analisadas, seguida pelo albedo.

Chlela et al. (2009) analisaram uma nova metodologia visando a simplificação de estudos paramétricos durante o processo de concepção de um edifício com baixo consumo de energia. O objeto do estudo foi um edifício de escritórios analisado para os climas de três cidades francesas, uma de clima frio, uma de clima moderado e outra de clima quente. Os autores desenvolveram modelos polinomiais chamados metamodelos, através de planejamento de experimentos para avaliar o consumo de energia da edificação. Os metamodelos desenvolvidos mostraram bons resultados para o consumo anual com aquecimento e resultados menos satisfatórios para o consumo anual com resfriamento.

Mechri, Capozzoli e Corrado (2010) utilizaram a ANOVA para identificar as variáveis de projeto que têm o maior impacto sobre a variação do desempenho energético em um edifício típico de escritório. As simulações foram realizadas para cinco cidades em diferentes zonas climáticas na Itália, e os parâmetros avaliados foram o índice de compactidade, as áreas de abertura para iluminação, a absorvância, o sombreamento e a capacidade térmica. Os resultados alcançados indicam que, para o consumo de energia com aquecimento da edificação, o fator mais importante é a área de abertura para iluminação, seguido pelo índice de compactidade. Para o consumo de energia com resfriamento, o fator que demonstrou maior influência também foi a área de abertura para iluminação. Os autores concluíram que a influência dos parâmetros variáveis de projeto é diretamente relacionada às condições climáticas da Itália.

Cappelletti et al. (2011) avaliaram os efeitos provocados no consumo energético para resfriamento, por diferentes propriedades térmicas para a cobertura, através de simulação computacional e projeto de experimento, para as condições climáticas de Roma. Os parâmetros de propriedade térmica da cobertura avaliados foram a capacidade térmica, a espessura, a localização e o material do isolamento térmico e a absorvância da cobertura. Também foram avaliados alguns parâmetros referentes ao restante do envelope construtivo: isolamento de paredes, fator de aberturas para iluminação e a orientação das janelas. Os resultados da análise estatística demonstraram que os parâmetros mais significativos no consumo energético para resfriamento são as

propriedades das janelas, como também a absorvência solar da cobertura, que está relacionada com a fração de radiação solar que entra na edificação.

Plessis et al. (2011) tinham como objetivo desenvolver um modelo paramétrico simplificado que pudesse ser aplicado ao processo de desenvolvimento de um projeto. O modelo analisado é referente a uma edificação residencial padrão na França. O método aplicado pelos autores foi dividido em duas etapas, onde a primeira consistiu na linearização e redução de detalhamento do modelo, e a segunda, através do método de planejamento de experimentos, no alcance de expressões multipolinomiais dos coeficientes de redução do modelo. Através da aplicação do método, os autores puderam reduzir primeiramente, de quinze para seis parâmetros e, ao final, considerar apenas três parâmetros: o fator solar das janelas, os ganhos internos de calor e a temperatura externa.

Muitos outros estudos publicados, nacionais e internacionais, tiveram como objetivo analisar os efeitos causados pela alteração de parâmetros construtivos em alguma análise, seja no desempenho termoenergético, nas temperaturas internas ou no consumo de energia em habitações (KOSSECKAA; KOSNY, 2002; GREGORY et al., 2008; ASTE; ANGELOTTI; BUZZETTI, 2009; GHISI; CARDOSO, 2011; SORGATO; LAMBERTS, 2012; PEREIRA; GHISI, 2012; BARRIOSA et al., 2012; MAVROGIANNI et al., 2012). Porém, observa-se nesses trabalhos a ausência de tratamento estatístico dos dados.

Através dos estudos internacionais encontrados, confirma-se a necessidade de introduzir a noção de confiabilidade relacionada a métodos estatísticos nos estudos realizados no Brasil. Também é comprovada a aplicabilidade da análise de variância para determinação da influência de parâmetros variáveis sobre o desempenho termoenergético de habitações.

2.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No presente capítulo foi apresentada uma revisão de literatura acerca dos principais temas relacionados ao estudo, que auxiliam no embasamento teórico necessário para realização deste trabalho.

No primeiro item foi elaborada uma breve revisão histórica sobre a evolução das regulamentações energéticas para edificações existentes no Brasil. Apesar das regulamentações sobre o assunto serem voluntárias e relativamente novas, a tendência é que, após um período de adaptações

e melhorias, as mesmas sejam cada vez mais aplicadas no setor da construção civil.

No segundo item foi apresentada a metodologia de avaliação proposta pelo RTQ-R, bem como os estudos realizados a partir da aplicação do método. Os poucos estudos realizados indicam a dificuldade encontrada para aplicação dos métodos e principalmente as congruências e/ou as contradições encontradas nos resultados, quando comparados com outras normas ou até na comparação entre os métodos prescritivo e de simulação. A partir dessa revisão e do conhecimento aprofundado nos métodos, pode-se afirmar a importância da realização de simulação computacional quando se tem o objetivo de determinar a influência dos parâmetros avaliados no estudo e propostas de soluções para projetos.

No terceiro e último item, foi abordado o método estatístico de planejamento de experimentos fatoriais. A aplicação de métodos estatísticos consolidados aumenta a confiabilidade e a aceitação dos resultados obtidos em um estudo. Pode-se perceber que grande parte dos trabalhos nacionais publicados relacionados ao desempenho termoenergético e eficiência energética de edificações, sejam residenciais, comerciais, de serviços ou públicas, não aplicam (ou não descrevem) métodos estatísticos coerentes com o procedimento adotado no estudo.

Assim, a revisão de literatura realizada possibilitou a identificação de necessidades relacionadas ao assunto abordado e o direcionamento para a escolha dos métodos mais adequados para realização das análises.

norma brasileira NBR 15220-3 (ABNT, 2005b). O método de avaliação utilizado foi o método de simulação proposto pelo RTQ-R, que calcula um equivalente numérico baseado no desempenho termoenergético da envoltória das habitações quando naturalmente ventiladas e quando artificialmente condicionadas. Neste item é detalhado o procedimento realizado para as simulações computacionais, bem como os cálculos e as verificações necessárias para obtenção do nível de eficiência energética da envoltória das habitações.

A terceira análise é o planejamento de experimento fatorial, que consiste na determinação estatística da influência dos parâmetros físicos e geométricos nos resultados obtidos pelas simulações computacionais, através da análise de variância desses parâmetros. Para tanto, inicialmente, foi aplicado um método para redução do número de habitações avaliadas, pela determinação de tipologias representativas da amostra, através de parâmetros fixados. Foram definidos também os parâmetros geométricos e físicos variados, seus níveis e valores de variação, que foram combinados fatorialmente para realização da análise de variância.

Neste estudo não será utilizado o termo “refrigeração” associado ao consumo de energia nas habitações, como se encontra no RTQ-R. De acordo com o Dicionário Aurélio <www.dicionariodoaurelio.com/>, refrigeração é o “ato ou efeito de refrigerar; abaixamento artificial da temperatura, produção de frio” e tem como sinônimos: congelamento e frigorificação. O termo aplicado ao estudo será “resfriamento”, pois considera-se que o ambiente que possui um sistema de condicionamento artificial não é refrigerado, mas sim resfriado. De acordo com o Dicionário Aurélio <www.dicionariodoaurelio.com/>, resfriamento é o “ato ou efeito de provocar abaixamento de temperatura” e tem como sinônimos: arrefecimento e esfriamento. Sendo assim, admite-se que o ciclo de refrigeração ocorre apenas internamente ao equipamento de condicionamento artificial.

3.1 OBTENÇÃO DOS DADOS E CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA

Os dados utilizados no estudo foram obtidos através de auditorias em aproximadamente 100 habitações unifamiliares de interesse social localizadas em diversos bairros de Florianópolis e região. Os dados foram utilizados para diversos trabalhos em um estudo multidisciplinar que abrange vários escopos, como o uso racional de água e energia em

habitações de interesse social. As 50 habitações que compõem a amostra utilizada neste trabalho foram escolhidas aleatoriamente, de acordo com a disponibilidade dos dados necessários para simulação pelo RTQ-R.

3.1.1 Obtenção dos dados

Foram utilizados os dados coletados sobre as características geométricas e físicas da envoltória de cada unidade habitacional, como mostram os Quadros 1 e 2, respectivamente. Para levantamento dos dados necessários, foram elaborados questionários padrão para serem aplicados através de pesquisa estruturada.

Quadro 1 – Dados obtidos das características geométricas da envoltória das habitações unifamiliares avaliadas e o método para obtenção de cada dado.

Características Geométricas	Dados	Método de obtenção
Ambientes	Área útil	Medição
	Pé direito	Medição
Aberturas (porta e janela)	Dimensões	Medição
	Altura do peitoril	Medição
	Localização na planta ou fachada	Medição
	Área de ventilação	Medição
	Área de iluminação	Medição
	Espessura do vidro	Observação
Paredes, cobertura e piso	Espessura da parede	Medição
	Espessura da laje	Valor padrão
	Espessura do piso	Valor padrão

Os métodos utilizados para obtenção dos dados foram, basicamente, de medição por trena, observação visual e por questionamento. Esse último foi aplicado para aquisição de informações sobre os materiais componentes de coberturas e, principalmente, de paredes, como não é possível identificar visualmente o tipo de cerâmica utilizada na construção, quando a mesma é de alvenaria.

Quadro 2 – Dados obtidos das características físicas da envoltória das habitações unifamiliares avaliadas e o método para obtenção de cada dado.

Características Físicas	Dados	Método de obtenção
Aberturas (porta e janela)	Tipo de abertura	Observação
	Material	Observação
	Cor	Observação
	Existência de veneziana	Observação
Paredes, cobertura e piso	Materiais componentes da parede	Observação e questionamento
	Absortância externa das paredes	Medição
	Materiais componentes da cobertura	Observação e questionamento
	Cor externa da cobertura	Observação
	Contado da cobertura com exterior	Observação
	Materiais componentes do piso	Observação
	Contato do piso com solo	Observação
	Sobre pilotis	Observação

Para aquisição do dado de absorvância solar das paredes externas, foi utilizado, na maioria dos casos, o método descrito por Santos, Marinoski e Lamberts (2009) que utiliza o espectrômetro portátil ALTA II. O aparelho mede as diferenças de potencial para a energia refletida de acordo com o material ensaiado. O método consiste em medição da diferença de potencial na superfície da parede em comparação com uma amostra padrão. A amostra padrão foi tomada como o papel branco comum (75 g/cm²) Ripax de refletância de 77,5% medida com um espectrofotômetro da marca Varian modelo CARY 5G por Dornelles (2008). De acordo com o método de Santos, Marinoski e Lamberts (2009), essa refletância medida deve ser corrigida para o espectro solar padrão de acordo com os valores da norma internacional ASTM G 173 (2003).

Para a absorvância solar da cobertura, foram estimados valores com base no material da cobertura exposto ao meio externo da habitação (telha metálica, fibrocimento, cerâmica ou laje) e sua cor observada, de acordo com os dados medidos por Dornelles (2008).

Tendo em vista a falta de precisão na aquisição dos dados necessários para o cálculo das propriedades térmicas das paredes e da cobertura conforme a NBR 15220-2 (ABNT, 2005a), foi utilizado o catálogo de propriedades térmicas desenvolvido por Morishita et al. (2011). Os valores de capacidade térmica e transmitância térmica foram

adotados com base nos tipos de parede e cobertura observados durante as visitas.

Durante as auditorias foram elaborados croquis da fachada principal e da planta baixa, fazendo referência ao norte magnético (verificado com uso de bússola) e à rua, para determinação da orientação solar.

3.1.2 Caracterização da amostra

A caracterização da amostra foi elaborada a fim de se ilustrar as informações coletadas em relação a dois critérios: aos ambientes que compõem as habitações e suas características construtivas, conforme indicado no Quadro 3.

Quadro 3 – Critérios para caracterização das habitações que compõem a amostra.

Critérios para caracterização	
Ambientes	Sala
	Dormitórios
	Ambientes de trabalho
Características construtivas	Número de pavimentos
	Contato do piso e da cobertura da habitação com o exterior
	Tipo de parede
	Tipo de cobertura

3.2 AVALIAÇÃO DO NÍVEL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DA ENVOLTÓRIA PELO MÉTODO DE SIMULAÇÃO DO RTQ-R

Neste item é descrito detalhadamente o método aplicado para avaliação do nível de eficiência energética da envoltória das 50 habitações unifamiliares pelo método de simulação do RTQ-R.

No método de avaliação por simulação do RTQ-R, deve-se modelar a unidade habitacional com as características físicas e geométricas, propriedades térmicas dos elementos construtivos e orientação conforme os dados obtidos inicialmente. Devem ser realizadas simulações para duas condições: uma para a edificação quando naturalmente ventilada e outra para a edificação quando condicionada artificialmente.

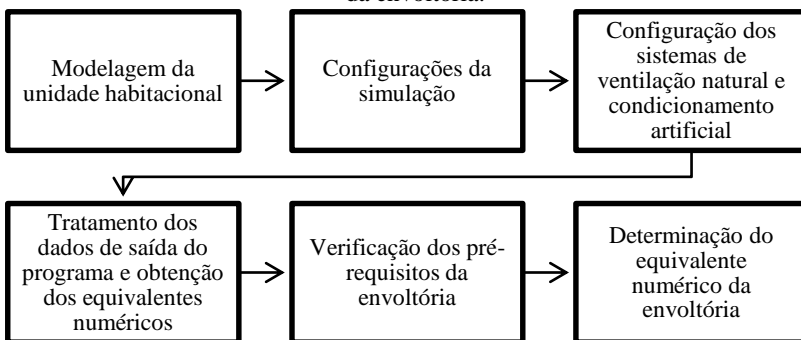
O RTQ-R fixa os padrões de ocupação, de iluminação e as cargas internas consideradas em todas as habitações unifamiliares. Isto se faz

necessário visando a possibilidade de comparação do desempenho termoeenergético entre as habitações, desconsiderando a influência do usuário.

Segundo o RTQ-R, existem alguns pré-requisitos que o programa de simulação computacional deve atender. O programa deve ser validado pelos testes da Standard 140 (ASHRAE, 2004); analisar o consumo de energia; modelar 8.760 horas por ano; modelar variações horárias de ocupação, potência de iluminação e equipamentos, rede de ventilação natural e sistemas de condicionamento artificial, definidos separadamente para cada dia da semana e feriados; modelar efeitos de inércia térmica e de multi-zonas térmicas; ter capacidade de simular as estratégias bioclimáticas adotadas em projeto; determinar a capacidade solicitada pelo sistema de condicionamento de ar; e produzir relatórios horários das trocas de ar, das infiltrações e do uso final de energia (BRASIL, 2012). Neste trabalho foi utilizado o programa *EnergyPlus*, versão 8.0, que atende todas às exigências do RTQ-R para o programa de simulação.

O fluxograma apresentado na Figura 4 mostra detalhadamente o método aplicado na determinação do nível da eficiência energética de cada unidade habitacional.

Figura 4 – Fluxograma do método de avaliação do nível de eficiência energética da envoltória.



3.2.1 Modelagem das habitações unifamiliares

Neste estudo, para a modelagem das 50 habitações, foi utilizado o plug-in do *OpenStudio* para o programa *SketchUp*8. De acordo com o RTQ-R, cada ambiente da unidade habitacional deve ser modelado como uma zona térmica e com as dimensões e características geométricas próprias. As áreas consideradas no desenho foram referentes às

dimensões internas de cada ambiente e as aberturas de portas e janelas foram desenhadas na sua localização real, de acordo com os dados obtidos nas visitas.

O *OpenStudio* gera um arquivo com a extensão de entrada do programa *EnergyPlus*, que identifica as zonas e suas respectivas áreas de parede interna, externa, piso, cobertura, portas e janelas. Esse plug-in torna desnecessária a inserção das coordenadas cartesianas de cada superfície diretamente no *EnergyPlus*.

3.2.2 Configurações da simulação

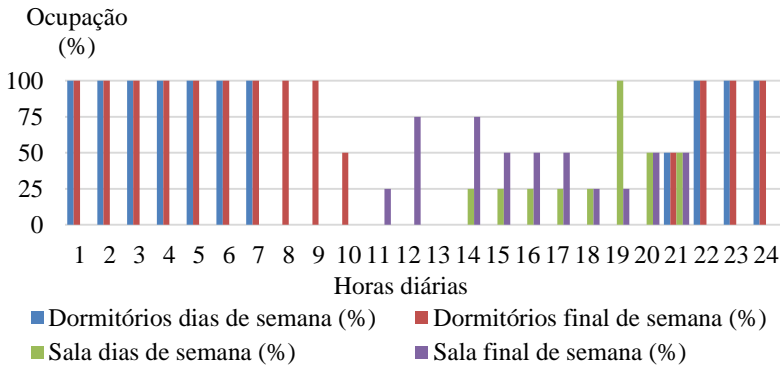
Para realização da simulação no *EnergyPlus* foi necessário realizar configurações que possibilitassem ao programa a realização dos cálculos de transferência de calor.

De acordo com o RTQ-R, o arquivo climático utilizado na simulação computacional deve fornecer valores horários para todos os resultados obtidos na simulação, tais como temperatura e umidade, direção e velocidade do vento, radiação solar, temperatura operativa, consumos, entre outros. Os dados climáticos devem ser representativos da zona bioclimática onde a habitação se localiza.

Os arquivos utilizados devem ser disponibilizados pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos (www.eere.energy.gov) ou pelo Procel (www.procelinfo.com.br/etiquetagem_edificios), em formatos tais como TRY e TMY. Neste trabalho foi usado o arquivo TRY determinado por Goulart, Lamberts e Firmino (1998), disponibilizado pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (www.labeee.ufsc.br).

O padrão de ocupação mínimo dos dormitórios é de duas pessoas por ambiente e para a sala devem ser somadas as ocupações dos dormitórios. Caso haja mais de uma sala ou outro ambiente de permanência prolongada exceto dormitórios, a ocupação adotada para a sala pode ser distribuída entre esses ambientes. Devem ser modelados padrões de ocupações diferentes dos ambientes para os dias da semana e finais de semana. O RTQ-R apresenta valores pré-definidos através da porcentagem das pessoas disponíveis em cada hora do dia, nos ambientes de permanência prolongada, para os dias da semana e finais de semana, conforme a Figura 5. Os valores das taxas de metabolismo são baseados na ASHRAE *Handbook of Fundamentals* (2009) que considera 81 W/pessoa nos dormitórios e 108 W/pessoa nas salas e sala/cozinha, considerando uma área de pele média de 1,80 m².

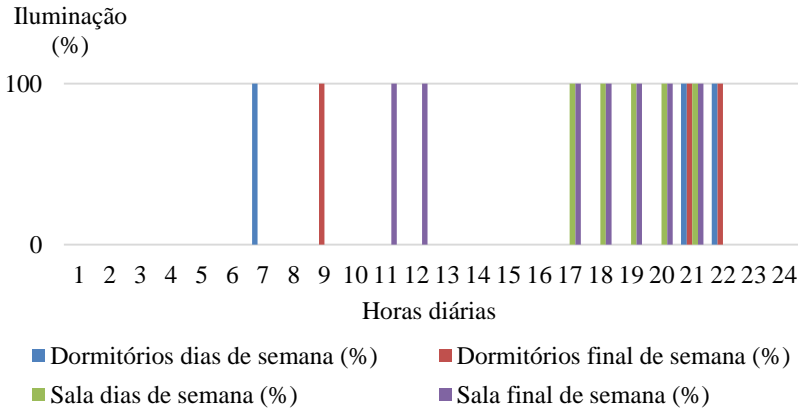
Figura 5 – Padrão de ocupação fixado pelo RTQ-R.



Fonte: Adaptado de Brasil, 2012.

O RTQ-R considera o uso do sistema de iluminação apenas em ambientes de permanência prolongada, e fixa padrões de uso para dias de semana e para o final de semana, conforme a Figura 6. Os valores 0% indicam que a iluminação do ambiente está desligada, enquanto o 100% indica que a mesma está ligada. A densidade de potência instalada com iluminação é de 6 W/m² nas salas e 5 W/m² nos dormitórios.

Figura 6 – Padrão de iluminação fixado pelo RTQ-R.



Fonte: Adaptado de Brasil, 2012.

De acordo com o RTQ-R, as cargas internas de equipamentos são modeladas apenas para a sala e a densidade de potência instalada é de 1,5 W/m² nas 24 horas do dia durante todo o período de simulação.

A temperatura média mensal do solo deve ser calculada sempre que o piso dos ambientes estiver em contato com o solo. O cálculo é realizado com base nas temperaturas médias internas e externas da edificação, com as propriedades físicas, geométricas e térmicas reais do projeto. Neste estudo, o cálculo foi realizado através do programa *Slab*, vinculado ao *EnergyPlus*. Primeiramente, cada habitação foi simulada considerando a temperatura média mensal do solo contida no arquivo climático, sendo que o dado de saída das simulações foi a temperatura média mensal do ar interno para cada ambiente de permanência prolongada. Foram calculadas as temperaturas médias mensais do ar interno para cada habitação, através da média ponderada pelas áreas dos ambientes de permanência prolongada. Por fim, foi realizada uma segunda simulação para cada habitação, utilizando então o programa *Slab*, onde foram inseridas as temperaturas médias mensais do ar interno calculadas anteriormente.

Como citado no item de obtenção dos dados, as propriedades térmicas dos materiais de fechamento das habitações foram obtidas através do catálogo de propriedades térmicas de Morishita et al. (2011). Os dados obtidos do catálogo são a transmitância e a capacidade térmica dos componentes de fechamento vertical e cobertura encontrados em campo.

Para a simulação computacional foi necessário desmembrar paredes e coberturas em camadas, e inserir valores de propriedades físicas e térmicas de cada material que compõe essas camadas do componente equivalente. Os dados são: rugosidade, espessura, condutividade, densidade, calor específico e absorvância.

3.2.3 Configuração da ventilação natural e do sistema de condicionamento artificial de ar

De acordo com o RTQ-R, todos os ambientes da unidade habitacional que possuem aberturas para ventilação devem ser modelados no sistema de ventilação natural. São consideradas aberturas para ventilação tanto janelas quanto portas. O RTQ-R também estipula que a unidade habitacional deve ser considerada em terreno de centro urbano, com coeficiente de rugosidade do entorno igual a 0,33, como recomendado pela ASHRAE (2009).

Para as habitações com formatos retangulares, o cálculo dos coeficientes de pressão superficial é feito pelo próprio programa de simulação, que utiliza as equações de Swami e Chandra (1988), encontradas na ASHRAE 2001 – *Fundamentals Handbook*. Para as habitações com geometria irregular, foi utilizado o programa CP Generator, disponível em uma versão beta gratuita no site <cpgen.bouw.tno.nl/cp/>. O programa estima os coeficientes de pressão nas fachadas e cobertura da edificação para diversos ângulos de incidência do vento, levando em consideração as obstruções causadas pela própria irregularidade.

O RTQ-R fixa o valor do coeficiente de descarga e do coeficiente do fluxo de ar por frestas para janelas e portas retangulares em 0,60 e 0,001, respectivamente, e o expoente do fluxo de ar igual a 0,65.

O padrão de uso da ventilação natural é obtido neste estudo através da estratégia de controle automático por temperatura. Esse controle habilita a abertura das janelas quando a temperatura do ar interna do ambiente é igual ou superior à temperatura do termostato, fixada pelo RTQ-R em 20°C, e também quando a temperatura do ar interna é maior que a temperatura externa à habitação. Vale ressaltar que o RTQ-R desconsidera a umidade do ar na avaliação.

A simulação, quando a habitação for condicionada artificialmente, deve considerar o sistema ligado no período das 21h às 8h, e no restante do tempo considerar-se ventilação natural. A modelagem deve considerar o sistema instalado em todos os ambientes de permanência prolongada, exceto os dormitórios de serviço. O RTQ-R mantém a temperatura do termostato fixada em 24°C para resfriamento e em 22°C para aquecimento.

O RTQ-R fixa a taxa de fluxo de ar por pessoa em 0,00944 m³/s, considerando contínuo o modo de operação do ventilador. A eficiência do ventilador foi mantida em 0,7 e a do motor em 0,9. Também foi fixada a razão entre o calor retirado do ambiente e a energia consumida pelo equipamento, o valor do Coeficiente de Performance (COP) da serpentina de refrigeração é igual a 3,00 W/W. A razão entre o calor fornecido ao ambiente e a energia consumida pelo equipamento (COP do sistema de aquecimento) foi fixada em 2,75 W/W e o número máximo de horas não atendidas do sistema de condicionamento de ar de 10%.

3.2.4 Tratamento dos dados e obtenção dos equivalentes numéricos da envoltória dos ambientes

Como visto anteriormente, deve-se modelar a habitação com todos seus ambientes e características geométricas e físicas, porém, são analisados apenas os resultados referentes aos ambientes de permanência prolongada. O RTQ-R determina como ambientes de permanência prolongada os dormitórios, os ambientes de trabalho, as salas e as salas com cozinhas conjugadas (sala/cozinha). Os banheiros e a cozinha, quando não conjugada com a sala, não são considerados ambientes de permanência prolongada.

Para o modelo base de ventilação natural, os dados de saída do programa são as temperaturas operativas horárias de cada ambiente de permanência prolongada da habitação. A partir das temperaturas operativas horárias, foi calculado o indicador de graus hora de resfriamento através da Equação 1. A temperatura base para o cálculo dos graus hora de resfriamento é de 26°C.

$$GHRamb = \begin{cases} \text{se } T_i > 26^\circ C, & \sum_{i=0}^{8760} (T_i - 26^\circ C) \\ \text{se } T_i \leq 26^\circ C, & 0 \end{cases} \quad (1)$$

Onde:

GHRamb é o indicador de graus hora de resfriamento de cada ambiente de permanência prolongada [°Ch];

T_i são as temperaturas operativas em cada uma das 8760 horas do ano [°C];

i são as horas do ano [h].

Para o modelo base de condicionamento artificial de ar, os dados de saída do programa são os consumos de energia anuais com aquecimento e resfriamento nos dormitórios, e o consumo de energia com aquecimento nas salas, no período das 21h às 8h. O consumo relativo com aquecimento e com resfriamento foram calculados, respectivamente, com as Equações 2 e 3.

$$CAamb = \frac{CAamb_{anual}}{AUamb} \quad (2)$$

$$CRamb = \frac{CRamb_{anual}}{AUamb} \quad (3)$$

Onde:

$CA_{amb_{anual}}$	é o consumo anual de energia elétrica com aquecimento noturno de cada ambiente de permanência prolongada [kWh/ano];
$CR_{amb_{anual}}$	é consumo anual de energia elétrica com resfriamento noturno de cada dormitório [kWh/ano];
CA_{amb}	é o consumo relativo com aquecimento de cada ambiente de permanência prolongada [kWh/m².ano];
CR_{amb}	é o consumo relativo com resfriamento de cada dormitório [kWh/m².ano];
AU_{amb}	é a área útil de cada ambiente de permanência prolongada [m²].

Neste trabalho, serão apresentados os resultados das variáveis de saída das simulações dos ambientes de permanência prolongada das habitações (graus hora de resfriamento e consumos para aquecimento e resfriamento), juntamente com a média ponderada de cada variável de saída pela área útil dos ambientes. A média ponderada para cada uma das variáveis de saída foi calculada através da Equação 4.

$$Variável\ de\ saída_{hab} = \sum \frac{Variável\ de\ saída_{amb_i} \times AU_i}{AU_t} \quad (4)$$

Onde:

$Variável\ de\ saída_{hab}$ é a média ponderada para cada variável de saída pela área útil dos ambientes de permanência prolongada [°Ch ou kWh/m².ano];

$Variável\ de\ saída_{amb_i}$ são os resultados das variáveis de saída (graus hora para resfriamento, consumo relativo para aquecimento ou consumo relativo para resfriamento) para cada ambiente de permanência prolongada [°Ch ou kWh/m².ano];

AU_i é a área útil de cada ambiente da habitação [m²];

AU_t é a área útil total dos ambientes de permanência prolongada da habitação [m²].

A obtenção dos equivalentes numéricos foi realizada através da comparação dos resultados das Equações 1, 2 e 3 para cada ambiente de permanência prolongada com os valores de referência para os níveis estipulados pelo RTQ-R, conforme as Tabelas 2, 3 e 4. A Tabela 2 mostra o nível de eficiência e o equivalente numérico relacionados para cada faixa de valores dos graus hora de resfriamento. As Tabelas 3 e 4 mostram

os níveis de eficiência e os equivalentes numéricos para os consumos relativos para resfriamento e aquecimento, respectivamente.

Tabela 2 – Equivalente numérico e nível de eficiência energética relacionados aos graus hora para resfriamento para a zona bioclimática 3.

Nível	EqNum	Graus hora de resfriamento (°Ch)
A	5	$GHR \leq 822$
B	4	$822 < GHR \leq 1643$
C	3	$1643 < GHR \leq 2465$
D	2	$2465 < GHR \leq 3286$
E	1	$3286 < GHR$

Fonte: Adaptado de Brasil, 2012.

Tabela 3 – Equivalente numérico e nível de eficiência energética relacionados ao consumo para resfriamento para a zona bioclimática 3.

Nível	EqNum	Consumo relativo para resfriamento (kWh/m².ano)
A	5	$CR \leq 6,890$
B	4	$6,890 < CR \leq 12,284$
C	3	$12,284 < CR \leq 17,677$
D	2	$17,677 < CR \leq 23,071$
E	1	$23,071 < CR$

Fonte: Adaptado de Brasil, 2012.

Tabela 4 – Equivalente numérico e nível de eficiência energética relacionados ao consumo para aquecimento para a zona bioclimática 3.

Nível	EqNum	Consumo relativo para aquecimento (kWh/m².ano)
A	5	$CA \leq 6,429$
B	4	$6,429 < CA \leq 12,858$
C	3	$12,858 < CA \leq 19,287$
D	2	$19,287 < CA \leq 25,716$
E	1	$25,716 < CA$

Fonte: Adaptado de Brasil, 2012.

3.2.5 Pré-requisitos da envoltória

De acordo com o RTQ-R, há alguns pré-requisitos que, caso a unidade habitacional não alcance, seu nível de classificação é reduzido. Os pré-requisitos são referentes à ventilação e iluminação natural.

O pré-requisito de ventilação natural é um limite para a relação entre a Área de Abertura para Ventilação (A_v) e a Área Útil do Ambiente (A_{Uamb}), devendo ser maior que 8% para a zona bioclimática 3. Caso

não seja atendido, o Equivalente Numérico da Envoltória para o ambiente para Resfriamento é no máximo 3 (Nível “C”). As aberturas devem ter possibilidade de fechamento durante o inverno.

O pré-requisito de iluminação natural apresenta um valor mínimo de 12,5% para a relação entre a área para iluminação e a área útil do ambiente. O não atendimento ocasiona que o equivalente numérico da envoltória para o ambiente para resfriamento, equivalente numérico da envoltória para o ambiente para aquecimento e equivalente numérico da envoltória para o ambiente para resfriamento sejam no máximo 3 (Nível “C”).

3.2.6 Determinação do equivalente numérico da envoltória

Após a determinação dos equivalentes numéricos da envoltória dos ambientes para graus hora de resfriamento, consumos para resfriamento e aquecimento, e verificados os pré-requisitos de ventilação e iluminação natural, foram determinados os equivalentes numéricos da envoltória da habitação.

O cálculo do equivalente numérico da envoltória da edificação é feito a partir da média ponderada entre os equivalentes numéricos dos ambientes com sua área útil, conforme as Equações 5 e 6.

$$EqNumEnv_A = \sum \frac{EqNumEnvAmb_{A_i} \times AU_i}{AU_t} \quad (5)$$

$$EqNumEnv_{Resfr} = \sum \frac{EqNumEnvAmb_{Resfr_i} \times AU_i}{AU_t} \quad (6)$$

Onde:

$EqNumEnv_A$ é o equivalente numérico da envoltória da habitação para aquecimento [adimensional];

$EqNumEnvAmb_{A_i}$ é o equivalente numérico da envoltória de cada ambiente da habitação para aquecimento [adimensional];

$EqNumEnv_{Resfr}$ é o equivalente numérico da envoltória da habitação para resfriamento [adimensional];

$EqNumEnvAmb_{Resfr_i}$ é o equivalente numérico da envoltória de cada ambiente da habitação para resfriamento [adimensional];

AU_i é a área útil de cada ambiente da habitação [m²];
 AU_t é a área útil total dos ambientes de permanência prolongada da habitação [adimensional].

Outro pré-requisito ainda foi avaliado na habitação: a ventilação cruzada. É necessário que seja atendida a condição expressa na Equação 7. Caso não atenda, o Equivalente Numérico da Envoltória para Resfriamento deve ser no máximo 3 (Nível “C”).

$$A_2/A_1 > 0,25 \quad (7)$$

Onde:

A_1 é o somatório das áreas efetivas de aberturas para ventilação localizadas nas fachadas da orientação com maior área de abertura para ventilação [m²];
 A_2 é o somatório das áreas efetivas de aberturas para ventilação localizadas nas fachadas das demais orientações [m²].

Para que a envoltória atinja classificação no mínimo “B”, mais de 50% dos banheiros devem ter aberturas voltadas para o exterior ou prismas, possibilitando ventilação natural.

Após a verificação dos pré-requisitos de ventilação cruzada, foi calculado o equivalente numérico da envoltória, que determina o nível de eficiência energética resultante da habitação avaliada. Para a zona bioclimática 3, o cálculo se dá pela Equação 8.

$$EqNumEnv = 0,64 \times EqNumEnv_{Resfr} + 0,36 \times EqNumEnv_A \quad (8)$$

Onde:

$EqNumEnv$ é o equivalente numérico da envoltória da habitação [adimensional];
 $EqNumEnv_{Resfr}$ é o equivalente numérico da envoltória da habitação para resfriamento [adimensional];
 $EqNumEnv_A$ é o equivalente numérico da envoltória da habitação para aquecimento [adimensional].

A classificação do nível de eficiência energética resultante da envoltória de cada unidade habitacional é relacionada ao equivalente numérico da envoltória indicado na Tabela 5, calculado pela Equação 8.

Tabela 5 – Níveis de eficiência energética relativos aos equivalentes numéricos finais da envoltória das habitações.

EqNumEnv	Nível
$4,5 \leq \text{EqNumEnv}$	A
$3,5 \leq \text{EqNumEnv} < 4,5$	B
$2,5 \leq \text{EqNumEnv} < 3,5$	C
$1,5 \leq \text{EqNumEnv} < 2,5$	D
$\text{EqNumEnv} < 1,5$	E

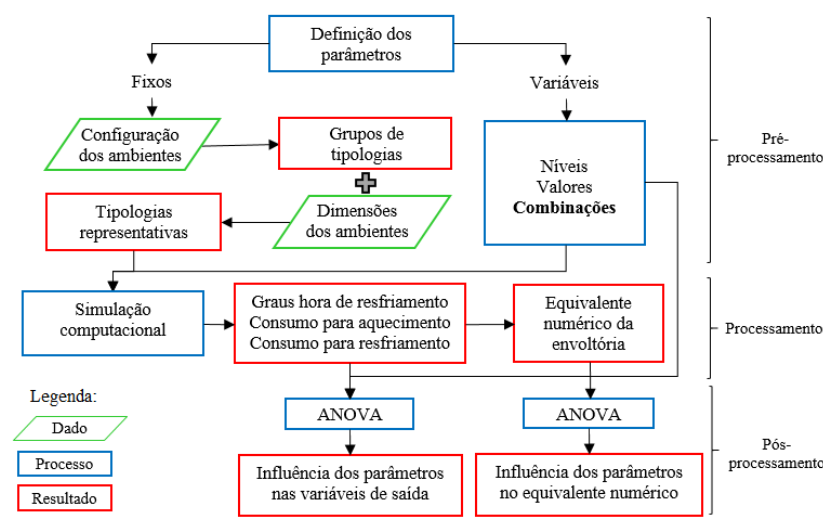
Fonte: Adaptado de Brasil, 2012.

3.3 PLANEJAMENTO DE EXPERIMENTO FATORIAL

A terceira análise realizada no trabalho é o planejamento do experimento fatorial, que tem por objetivo final determinar os parâmetros que mais influenciam no desempenho termoenergético das habitações avaliadas por simulação pelo RTQ-R.

A análise consiste em três etapas principais: pré-processamento, processamento e pós-processamento. As três etapas e o método aplicado a cada uma podem ser melhor entendidos através da Figura 7.

Figura 7 – Etapas do planejamento de experimento fatorial.



3.3.1 Pré-processamento

Os parâmetros físicos e geométricos analisados neste trabalho estão relacionados aos parâmetros utilizados na avaliação da eficiência energética da envoltória de uma habitação pelo método prescritivo do RTQ-R. Primeiramente, no pré-processamento foram determinados quais os parâmetros físicos e geométricos das habitações que deveriam ser fixados ou variados na simulação computacional.

Os parâmetros considerados fixos na análise são os parâmetros geométricos necessários para determinação dos grupos de tipologias encontrados na amostra e de uma tipologia representativa para cada grupo criado. A criação de grupos se fez necessária para a viabilização do estudo, visando a redução do número de habitações simuladas (as 50 que compõem a amostra), pois são necessárias duas simulações (naturalmente ventilada e artificialmente condicionada) para cada combinação paramétrica.

Os outros parâmetros geométricos e físicos coletados nas habitações avaliadas foram variados a fim de se determinar quais desses (individualmente ou associado a outro parâmetro) exercem maior influência nos resultados das simulações. Os parâmetros geométricos e físicos considerados fixos ou variáveis são mostrados no Quadro 4.

Quadro 4 – Parâmetros geométricos e físicos a serem fixados ou variados.

Fixos	Geométricos	Configurações de ambientes
		Dimensões internas de ambientes
		Dimensões de aberturas
Variáveis	Geométricos	Orientação solar
		Contato do piso com solo
		Contato da cobertura com exterior
		Existência de veneziana
	Físicos	Configuração e propriedade térmica das paredes externas
		Absortância de parede externa
		Configuração e propriedade térmica da cobertura
		Absortância de cobertura

Nos parâmetros geométricos fixos estão as configurações e as dimensões internas dos ambientes, juntamente com as dimensões das aberturas existentes em cada ambiente. A configuração dos ambientes está relacionada ao tipo e à quantidade de ambientes na habitação, sendo apenas avaliados os ambientes de dormitórios, salas, sala e cozinha

conjugadas e ambientes de trabalho, como escritórios, ateliers, entre outros.

Nos parâmetros físicos variáveis, as configurações e propriedades térmicas das paredes e da cobertura estão relacionadas aos materiais que compõem as mesmas. A análise das configurações foi realizada para duas propriedades térmicas, tanto das paredes quanto da cobertura: a transmitância térmica e a capacidade térmica.

Os parâmetros variados possuem níveis de variação e valores predeterminados que, combinados entre si de forma fatorial, resultam em conjuntos paramétricos de valores ordenados. A variação simultânea de todos os parâmetros permite a avaliação de todas as combinações possíveis dos parâmetros. A Tabela 6 resume todos os dez parâmetros variáveis na análise, juntamente com a quantidade de níveis de variação de cada parâmetro e os seus valores adotados.

Tabela 6 – Parâmetros considerados variáveis na análise e seus valores adotados.

Parâmetro	Unidade	Níveis	Valores
Transmitância térmica da cobertura	W/m ² .K	2	1,3/4,0
Capacidade térmica da cobertura	kJ/m ² .K	2	20/220
Absortância solar da cobertura	adimensional	2	0,1/0,9
Transmitância térmica das paredes	W/m ² .K	2	1,7/4,4
Capacidade térmica das paredes	kJ/m ² .K	2	50/250
Absortância solar das paredes	adimensional	2	0,1/0,9
Contato da cobertura com o exterior	adimensional	2	0/1
Contato do piso	adimensional	3	0/1/2
Existência de veneziana	adimensional	2	0/1
Orientação solar	graus	4	0/90/180/270

Foram determinados dois níveis de variação para a maioria das propriedades, que representam um valor baixo e um valor alto, necessários para realização do projeto de experimento fatorial.

A capacidade térmica e a transmitância térmica, tanto da cobertura quanto das paredes externas, foram variadas entre dois valores considerados extremos de acordo com os valores encontrados no catálogo de propriedades térmicas desenvolvido por Morishita et al. (2011). Para a simulação computacional foram considerados quatro tipos de paredes e quatro configurações de coberturas, visando a combinação entre todos os níveis das propriedades térmicas. Para cada tipo de parede e cobertura foi criado um material fictício cujas propriedades térmicas alcançam os

valores de capacidade e transmitância térmica desejados, conforme apresentado na Tabela 7.

A absortância solar, tanto das paredes externas quanto da cobertura, foi variada em dois níveis extremos e independente dos componentes analisados.

O parâmetro de contato da cobertura foi variado em dois níveis: (0) sob outro pavimento ou (1) contato direto com o exterior. O contato com solo foi variado em três níveis, conforme as possibilidades encontradas na amostra: (0) edificação sobre outro pavimento; (1) contato direto com solo; (2) edificação sobre pilotis. Também foi variada a existência de veneziana como sombreamento nas janelas em dois níveis: (0) caso não haja ou (1) caso haja veneziana. Por fim, a orientação solar foi variada em quatro níveis: (0) norte, (90) leste, (180) sul e (270) oeste.

Tabela 7 – Propriedades térmicas dos materiais fictícios criados para paredes e coberturas.

Propriedade térmica das paredes externas	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 4
Transmitância térmica [W/m².K]	1,75	1,75	4,40	4,40
Capacidade térmica [kJ/m².K]	50	250	50	250
Espessura [m]	0,1	0,1	0,1	0,1
Condutividade térmica [W/m.K]	0,25	0,25	1,74	1,74
Densidade de massa aparente [kg/m³]	500	2500	500	2500
Calor específico [J/kg.K]	1000	1000	1000	1000
Propriedade térmica da cobertura	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 4
Transmitância térmica [W/m².K]	1,31	1,31	4,00	4,00
Capacidade térmica [kJ/m².K]	20	220	20	220
Espessura [m]	0,1	0,1	0,1	0,1
Condutividade térmica [W/m.K]	0,18	0,18	2,50	2,50
Densidade de massa aparente [kg/m³]	200	2200	200	2200
Calor específico [J/kg.K]	1000	1000	1000	1000

O número de combinações fatoriais dos parâmetros variáveis é dado pela multiplicação entre os seus níveis, conforme a Equação 9. Para o presente estudo, foram determinadas 3072 combinações fatoriais paramétricas diferentes.

$$CF = a \times b \times \dots \times n \quad (9)$$

Onde:

CF é o número de combinações fatoriais, observações;

- a é o nível de valores referente ao parâmetro A;
 b é o nível de valores referente ao parâmetro B;
 n é o nível de valores referente ao parâmetro N.

As 50 habitações foram divididas em grupos de tipologias. Os grupos foram formados através parâmetros geométricos fixos de configurações dos ambientes, sendo que cada grupo reúne as habitações que contém número e tipos de ambientes de permanência prolongada semelhantes. Por exemplo, as habitações que possuem dois dormitórios e sala/cozinha conjugadas formaram um grupo, enquanto as habitações compostas por um dormitório, sala e cozinha formaram outro grupo.

Para cada um dos grupos formados foi definida uma tipologia representativa através dos parâmetros geométricos fixos de dimensões dos ambientes e das aberturas de janelas. Foram calculadas as médias e os desvios-padrão das áreas dos ambientes de permanência prolongada, das áreas de abertura de janelas dos ambientes de permanência prolongada, e da área total das habitações componentes de cada grupo. Para este trabalho, foi determinado que a tipologia representativa seria aquela que possuísse as áreas dos ambientes, as áreas totais e as áreas de janelas dentro dos intervalos médios calculados com 95% de confiabilidade pela distribuição t de *Student*. A Equação 10 exemplifica o cálculo para a área de um ambiente de permanência prolongada de um determinado grupo.

$$\bar{x} - t_{\frac{\alpha}{2}(n-1)} \times \frac{S}{\sqrt{n}} \leq \mu \leq \bar{x} + t_{\frac{\alpha}{2}(n-1)} \times \frac{S}{\sqrt{n}} \quad (10)$$

Onde:

- \bar{x} é a média das áreas dos ambientes de permanência prolongada das habitações de cada grupo [m²];
 $t_{\alpha/2(n-1)}$ é o valor retirado da tabela da distribuição de Student em função de α e n [adimensional];
 α é o nível de significância [adimensional];
 S é o desvio padrão da amostra [m²];
 n é o número de habitações da amostra [adimensional];
 μ é a média da população [m²].

3.3.2 Processamento

Após a definição das tipologias representativas dos grupos, no processamento foram configuradas as simulações para cada uma delas,

mantendo os padrões de ocupação e iluminação fixados pelo RTQ-R. Os conjuntos de valores das combinações paramétricas foram igualmente aplicados na simulação computacional, resultando em 3072 simulações para cada uma das tipologias representativas. Considerando as duas condições: simulação da unidade habitacional quando naturalmente ventilada e quando condicionada artificialmente, no total foram 6144 simulações para cada tipologia representativa.

A partir das temperaturas operativas horárias de cada ambiente de permanência prolongada (resultantes das simulações das tipologias representativas quando naturalmente ventiladas), foram calculados os indicadores de graus hora de resfriamento através da Equação 1, mostrada no item 3.2.4.

Para as simulações das tipologias representativas considerando condicionamento artificial de ar, os dados de saída do programa foram os consumos anuais de energia com aquecimento e resfriamento nos dormitórios, e o consumo anual de energia com aquecimento nas salas. Os consumos relativos com aquecimento e com resfriamento foram calculados, respectivamente, com as Equações 2 e 3, conforme indicado no item 3.2.4.

A partir dos valores de graus hora para resfriamento e consumos relativos para resfriamento e aquecimento, foram determinados os equivalentes numéricos da envoltória dos ambientes, através das Tabelas 2, 3 e 4, respectivamente, mostradas no item 3.2.4. Também foram calculados os equivalentes numéricos da envoltória das tipologias representativas para aquecimento e resfriamento, respectivamente, através das Equações 5 e 6 mostradas no item 3.2.6. Por fim foram calculados os equivalentes numéricos finais da envoltória das tipologias representativas, através da Equação 8 do item 3.2.6.

Nesta etapa do trabalho não foram verificados os pré-requisitos impostos pelo RTQ-R, pelo fato de impossibilitarem a análise da influência dos parâmetros variados nos resultados ligados à simulação computacional.

3.3.3 Pós-processamento

No pós-processamento, os resultados obtidos nas 6144 simulações computacionais para cada tipologia representativa foram tratados e submetidos à análise de variância, onde foram determinados os parâmetros físicos e geométricos que exercem maior influência nos resultados. Por meio da análise de variância, foi determinada a influência

que cada parâmetro exerce nas observações, ou seja, o efeito causado nos dados de saída (resultados das simulações e equivalentes numéricos) produzidos a partir da variação dos dados de entrada (parâmetros variáveis).

A análise de variância dos parâmetros físicos e geométricos foi realizada para cada uma das tipologias representativas da amostra, em relação a dois grupos de resultados. O primeiro grupo é composto pelos resultados de indicadores de graus hora de resfriamento e pelos consumos relativos para aquecimento e resfriamento, para cada um dos ambientes de permanência prolongada, conforme as Equações 1, 2 e 3, mostradas no item 3.2.4. O segundo grupo é formado pelos resultados dos equivalentes numéricos finais da envoltória das habitações representativas, calculados através da Equação 8 do item 3.2.6.

Nesta etapa, foi feito uso do programa estatístico computacional Minitab. No programa, foram inseridos em forma de tabela os valores dos parâmetros dispostos conforme as 3072 combinações paramétricas determinadas fatorialmente no pré-processamento, juntamente com os resultados obtidos através das simulações das tipologias representativas configuradas com cada uma das combinações.

O programa estatístico determinou qualitativamente através do valor F_0 (Tabela 1) quais são os parâmetros físicos e geométricos mais influentes nos dois grupos de resultados avaliados para as tipologias representativas: nos graus hora para resfriamento e nos consumos relativos para aquecimento e resfriamento dos ambientes de permanência prolongada; e nos equivalentes numéricos finais da envoltória.

Neste trabalho, os valores de porcentagem utilizados para apresentar quantitativamente os parâmetros mais influentes em cada uma das análises foram calculados com base no somatório da média quadrática (ver

Tabela 1), que foi calculada pelo programa Minitab para cada termo, conforme a Equação 11.

$$Influência_i(\%) = \frac{MQ_i}{\sum MQ_i} \times 100 \quad (11)$$

Onde:

$Influência_i$ é a influência do termo i no resultado analisado;
 MQ_i é a média quadrática do termo i ;
 $\sum MQ_i$ é a somatória das médias quadráticas de todos os termos.

Neste estudo foi analisada a influência dos efeitos de primeira e de segunda ordem, o que gerou 55 termos. O termo composto por um

parâmetro é um efeito de primeira ordem; o termo composto por dois parâmetros que interagem entre si, é um efeito de segunda ordem. Os termos são apresentados no Quadro 5.

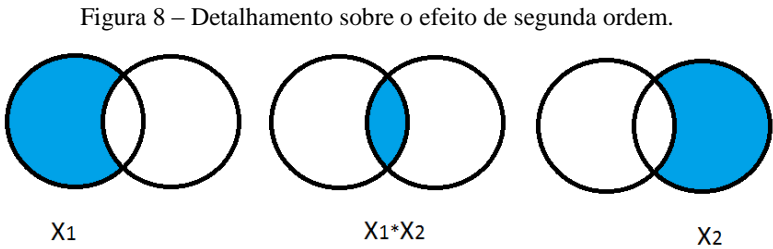
Quadro 5 – Os 55 termos avaliados no pós-processamento.

Termos	
Primeira ordem	Orientação solar
	Contato do piso
	Contato da cobertura
	Sombreamento
	Absortância da parede
	Absortância da cobertura
	Transmitância da parede
	Capacidade térmica da parede
	Transmitância da cobertura
	Capacidade térmica da cobertura
Segunda ordem	Orientação solar*Contato do piso
	Orientação solar*Contato da cobertura
	Orientação solar*Sombreamento
	Orientação solar*Absortância da parede
	Orientação solar*Absortância da cobertura
	Orientação solar*Transmitância da parede
	Orientação solar*Capacidade térmica da parede
	Orientação solar*Transmitância da cobertura
	Orientação solar*Capacidade térmica da cobertura
	Contato do piso*Contato da cobertura
	Contato do piso*Sombreamento
	Contato do piso*Absortância da parede
	Contato do piso*Absortância da cobertura
	Contato do piso*Transmitância da parede
	Contato do piso*Capacidade térmica da parede
	Contato do piso*Transmitância da cobertura
	Contato do piso*Capacidade térmica da cobertura
	Contato da cobertura*Sombreamento
	Contato da cobertura*Absortância da parede
	Contato da cobertura*Absortância da cobertura
	Contato da cobertura*Transmitância da parede
	Contato da cobertura*Capacidade térmica da parede
	Contato da cobertura*Transmitância da cobertura
	Contato da cobertura*Capacidade térmica da cobertura
	Sombreamento*Absortância da parede
	Sombreamento*Absortância da cobertura

Quadro 5 – Os 55 termos avaliados no pós-processamento (continuação).

Termos	
Segunda ordem	Sombreamento*Transmitância da parede
	Sombreamento*Capacidade térmica da parede
	Sombreamento*Transmitância da cobertura
	Sombreamento*Capacidade térmica da cobertura
	Absortância da parede*Absortância da cobertura
	Absortância da parede*Transmitância da parede
	Absortância da parede*Capacidade térmica da parede
	Absortância da parede*Transmitância da cobertura
	Absortância da parede*Capacidade térmica da cobertura
	Absortância da cobertura*Transmitância da parede
	Absortância da cobertura*Capacidade térmica da parede
	Absortância da cobertura*Transmitância da cobertura
	Absortância da cobertura*Capacidade térmica da cobertura
	Transmitância da parede*Capacidade térmica da parede
	Transmitância da parede*Transmitância da cobertura
	Transmitância da parede*Capacidade térmica da cobertura
	Capacidade térmica da parede*Transmitância da cobertura
	Capacidade térmica da parede*Capacidade térmica da cobertura
	Transmitância da cobertura*Capacidade térmica da cobertura

A interação entre dois parâmetros (X_1 e X_2), que gera um efeito de segunda ordem (X_1*X_2), pode ser representada através da intersecção entre as influências dos efeitos de primeira ordem, como apresentado na Figura 8.



Quanto maior a relação física entre os parâmetros, maior será o efeito de segunda ordem. Por exemplo, sabe-se que a influência do parâmetro da absortância solar da cobertura depende do parâmetro de contato da cobertura com o exterior. Isso faz com que o termo de segunda

ordem (absortância solar da cobertura associada ao contato da cobertura com o exterior) possua influência significativa em relação a pelo menos um dos termos de primeira ordem. O símbolo “*” encontrado nos termos de segunda ordem no Quadro 5 representa a associação entre os dois termos de primeira ordem, não significa a soma dos efeitos de primeira ordem, nem representa a variação combinada dos termos de primeira ordem na análise. Desta forma, não existe a possibilidade de um efeito de segunda ordem ser mais influente do que ambos os efeitos de primeira ordem que o compõe.

4 RESULTADOS

Neste capítulo, são apresentados e discutidos os resultados encontrados após a aplicação do método proposto, detalhado no capítulo anterior.

O resultados são expostos em três partes, sendo a primeira relacionada à caracterização da amostra, que contém informações construtivas sobre as habitações. Na segunda parte, são mostrados e discutidos os resultados encontrados em cada etapa da avaliação do nível de eficiência energética da envoltória das 50 habitações. A terceira parte apresenta, primeiramente, os parâmetros físicos e geométricos analisados no estudo, os grupos determinados através da configuração dos ambientes e as tipologias representativas encontradas estatisticamente na amostra. Por fim, são expostos os resultados obtidos após a análise de variância dos parâmetros físicos e geométricos para as variáveis de saída das simulações e para o equivalente numérico final de cada tipologia representativa.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA

Neste item são apresentadas informações sobre as habitações que compõem a amostra analisada. Todas as informações estão relacionadas aos dados necessários para configuração das simulações realizadas na segunda e na terceira etapa do método.

As 50 habitações estudadas estão localizadas em Florianópolis-SC e foram caracterizadas segundo os ambientes que compõem cada uma e quanto à sua envoltória, através da análise das características construtivas encontradas.

4.1.1 Quanto aos ambientes

Quanto aos ambientes encontrados nas habitações, foram avaliadas as variações existentes dos ambientes da sala e dos dormitórios, como também foi analisada a existência de ambientes destinados a trabalho. Essas informações foram utilizadas para a determinação dos grupos representativos de tipologias da amostra.

O primeiro ambiente a ser analisado é a sala e, em alguns casos, junto a ela a cozinha. Foram observados quatro tipos de configurações desses ambientes nas habitações que compõem a amostra: um ambiente da sala conjugado com o ambiente da cozinha (chamado aqui de

sala/cozinha), um ambiente específico para sala separado de cozinha, dois ambientes de sala, e habitações sem sala apenas com cozinha.

Conforme se pode observar na Tabela 8, a configuração de ambientes de maior ocorrência é a sala/cozinha, em 24 de 50 habitações. Em 38% das residências analisadas foram observados os ambientes separados em uma sala e uma cozinha.

Tabela 8 – Configuração dos ambientes de sala da amostra.

Configuração	Sala/cozinha	Sala	Duas salas	Sem sala
Número de habitações	24	19	5	2
Ocorrência	48%	38%	10%	4%

Em relação aos dormitórios, na amostra foram observadas habitações compostas de um até quatro dormitórios. Como pode ser visto na Tabela 9, habitações com dois e três dormitórios prevaleceram na amostra, representando 38% e 40%, respectivamente.

Tabela 9 – Quantidade de dormitórios em cada habitação.

Configuração	Um	Dois	Três	Quatro
Número de habitações	7	19	20	4
Ocorrência	14%	38%	40%	8%

Apenas quatro das 50 habitações unifamiliares avaliadas possuem um cômodo destinado a trabalho (oficina de costura, salão de beleza, etc.), sendo três compostas por sala/cozinha e três dormitórios, e apenas uma habitação composta por sala/cozinha e quatro dormitórios.

4.1.2 Quanto à envoltória

Para a caracterização da amostra quanto à envoltória foram observadas as ocorrências das configurações relacionadas à natureza da habitação quanto ao número de pavimentos, contato com o solo, contato da cobertura com o exterior, tipo de parede e tipo de cobertura.

Quanto ao número de pavimentos, entre as habitações avaliadas foram observados três tipos: térreas, sobrados de dois andares e sobrados de três andares. Das 50 habitações observadas, 46 (91%) eram térreas, três (6%) eram sobrados de dois andares e apenas 1 (2%) era sobrado de três andares.

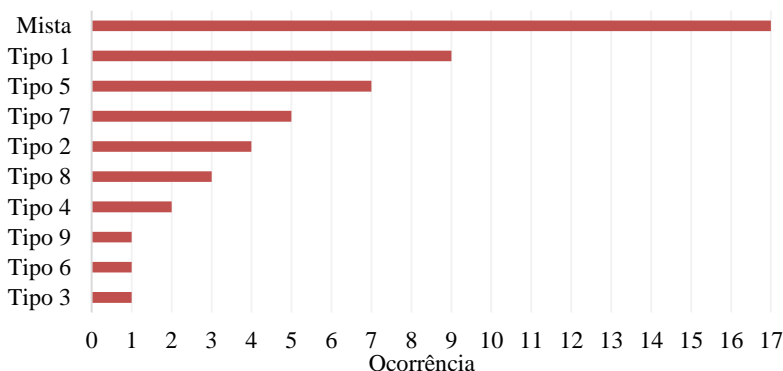
Entre as opções existentes de contato da habitação com o solo foram observadas habitações com contato direto ao solo (composto por

camadas de solo, concreto e piso) e habitações sem o contato direto com o solo, podendo ser sobre pilotis ou sobre outro pavimento (que não faz parte da habitação). Os resultados obtidos mostram que 41 habitações (82% da amostra) estão em contato com o solo e somente nove (18%), não possuem contato direto com o solo, das quais oito habitações estão sobre pilotis e uma sobre outra habitação.

Para o contato da cobertura da habitação com o meio externo, foi verificado que 48 habitações (96% da amostra) possuem contato direto com o exterior enquanto apenas 2 (4%) estão sob outro pavimento (que não faz parte da habitação).

Para o tipo de cobertura foram observadas várias composições nas habitações, utilizando diversos materiais de telhas e de forros. A ocorrência dos tipos de coberturas na amostra pode ser vista na Figura 9.

Figura 9 – Ocorrência dos tipos de coberturas na amostra.



Nota-se que as habitações com cobertura mista são as mais recorrentes na amostra, seguidas pela cobertura composta por telha cerâmica e forro de madeira. A cobertura mista é determinada através da ocorrência de ambientes com diferentes composições de cobertura em uma mesma habitação.

Para o tipo de parede foram encontradas na amostra duas composições: paredes constituídas de camadas de argamassa, blocos cerâmicos e argamassa, e paredes de madeira de diversas espessuras. Em 40 habitações (80% da amostra) foram observadas paredes constituídas apenas de camadas de argamassa, blocos cerâmicos e argamassa. Em apenas 2 habitações (4%) todas as paredes são de madeira, e 8 habitações

(16%) foram construídas com duas ou mais composições de parede, sendo encontradas até composições com blocos de concreto.

Na Tabela 10 estão relacionadas todas as características analisadas acima, para cada uma das 50 habitações. Os Quadros 6 e 7 apresentam os materiais observados para cada um dos tipos de parede e de cobertura.

Tabela 10 – Caracterização da envoltória das 50 habitações avaliadas.

Habi- tação	Número de pavimentos	Contato do piso	Contato da cobertura	Tipo de parede	Tipo de cobertura
1	1	Solo	Exterior	Tipo 1	Tipo 1
2	1	Solo	Exterior	Tipo 1	Tipo 1
3	1	Adiabático	Exterior	Tipo 1	Tipo 5
4	1	Solo	Exterior	Tipo 1	Tipos 2 e 3
5	1	Pilotis	Exterior	Tipos 2 e 3	Tipos 5 e 6
6	1	Solo	Exterior	Tipo 4	Tipo 4
7	1	Pilotis	Exterior	Tipo 1	Tipo 7
8	2	Solo	Exterior	Tipo 1	Tipo 4
9	1	Pilotis	Exterior	Tipo 2	Tipo 1
10	1	Solo	Exterior	Tipos 1 e 2	Tipo 1 e 3
11	1	Solo	Exterior	Tipo 1	Tipos 1 e 4
12	1	Solo	Exterior	Tipo 1	Tipos 5 e 6
13	1	Pilotis	Exterior	Tipo 1	Tipos 1 e 7
14	1	Solo	Exterior	Tipo 1	Tipos 2 e 5
15	1	Solo	Exterior	Tipo 1	Tipo 4
16	1	Solo	Exterior	Tipo 1	Tipo 1
17	1	Solo	Exterior	Tipo 1	Tipos 2 e 5
18	1	Solo	Exterior	Tipo 1	Tipo 3
19	1	Solo	Exterior	Tipo 1	Tipos 4 e 5
20	1	Solo	Exterior	Tipo 1	Tipo 8
21	1	Solo	Exterior	Tipo 1	Tipo 5
22	1	Solo	Exterior	Tipo 1	Tipos 3 e 5
22	1	Solo	Exterior	Tipo 1	Tipos 3 e 5
23	1	Solo	Exterior	Tipos 1, 2 e 5	Tipo 2
24	1	Solo	Exterior	Tipo 1	Tipo 5
25	1	Solo	Exterior	Tipo 1	Tipos 2 e 5
26	1	Solo	Exterior	Tipo 1	Tipo 2
27	1	Solo	Exterior	Tipo 1	Tipo 2, 6 e 7
28	1	Solo	Exterior	Tipo 1	Tipo 8
29	1	Solo	Exterior	Tipo 1	Tipos 2 e 5
30	1	Pilotis	Exterior	Tipos 1 e 2	Tipos 1 e 6

Tabela 10 – Caracterização da envoltória das 50 habitações (continuação).

Habi- tação	Número de pavimentos	Contato do piso	Contato da cobertura	Tipo de parede	Tipo de cobertura
31	1	Solo	Exterior	Tipo 1	Tipo 5
32	1	Solo	Exterior	Tipo 1	Tipo 6
33	1	Solo	Exterior	Tipo 1	Tipo 5
34	1	Pilotis	Exterior	Tipos 1 e 2	Tipos 1, 4 e 8
35	1	Solo	Exterior	Tipo 1	Tipo 9
36	1	Solo	Exterior	Tipo 4	Tipo 8
37	1	Solo	Exterior	Tipo 2	Tipo 1
38	1	Solo	Exterior	Tipo 1	Tipo 2
39	1	Solo	Exterior	Tipo 4	Tipo 5
40	1	Solo	Exterior	Tipos 1 e 2	Tipo 1
41	1	Solo	Exterior	Tipo 1	Tipo 7
42	1	Solo	Exterior	Tipo 1	Tipo 2
43	1	Solo	Exterior	Tipo 1	Tipo 7
44	1	Solo	Adiabático	Tipo 1	Tipo 7
45	2	Solo	Exterior	Tipo 1	Tipo 1
46	3	Solo	Exterior	Tipo 1	Tipo 1
47	1	Solo	Adiabático	Tipo 1	Tipo 7
48	1	Pilotis	Exterior	Tipos 1 e 2	Tipo 5
49	1	Pilotis	Exterior	Tipos 1 e 2	Tipos 2, 5 e 6
50	2	Solo	Exterior	Tipo 1	Tipo 1

Quadro 6 – Componentes encontrados em cada tipo de parede observada.

Parede	Materiais componentes
Tipo 1	Argamassa, bloco cerâmico de 6 furos e argamassa.
Tipo 2	Madeira.
Tipo 3	Argamassa e bloco cerâmico de 6 furos.
Tipo 4	Argamassa, bloco cerâmico de 8 furos e argamassa.
Tipo 5	Argamassa, bloco de concreto e argamassa.

Quadro 7 – Componentes em cada tipo de cobertura encontrada.

Cobertura	Telha	Laje	Forro
Tipo 1	Cerâmica	-	Madeira
Tipo 2	Fibrocimento	-	PVC
Tipo 3	Fibrocimento	Sim	-
Tipo 4	Cerâmica	Sim	-
Tipo 5	Fibrocimento	-	Madeira
Tipo 6	Fibrocimento	-	-
Tipo 7	-	Sim	-
Tipo 8	Cerâmica	-	PVC
Tipo 9	Cerâmica	-	Gesso

4.2 NÍVEL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DA ENVOLTÓRIA PELO MÉTODO DE SIMULAÇÃO DO RTQ-R

Neste item são apresentados os resultados de cada etapa da avaliação do nível de eficiência energética da envoltória das 50 habitações, conforme indicado na Figura 3. Primeiramente, são expostos os resultados de graus hora para resfriamento e consumos relativos para aquecimento e resfriamento, calculados a partir das temperaturas operativas e dos consumos horários obtidos nas simulações. Em seguida, são apresentadas as áreas de abertura para ventilação e iluminação de cada ambiente de permanência prolongada das habitações, juntamente com os resultados da avaliação dos pré-requisitos. Logo depois, são mostrados os resultados dos equivalentes numéricos para os ambientes de permanência prolongada antes e após a verificação dos pré-requisitos. Por fim, são apresentados os equivalentes numéricos finais da envoltória de cada habitação, juntamente com seu nível de eficiência energética correspondente.

4.2.1 Variáveis de saída da simulação computacional: Graus hora para resfriamento e consumos para aquecimento e resfriamento.

Neste item serão apresentados os resultados de graus hora para resfriamento e consumos para aquecimento e resfriamento, obtidos a partir das simulações das 50 habitações.

Como foi detalhado no método, cada uma das habitações foi simulada para duas condições, onde a primeira considera apenas ventilação natural nas habitações e a segunda considera, além da ventilação natural, um sistema de condicionamento de ar no período noturno.

Na simulação para a primeira condição foram gerados resultados de temperatura operativa horária para um ano de simulação. A partir da Equação 1 (apresentada no item 3.2.4) são calculados os indicadores de graus hora para cada ambiente de permanência prolongada.

Na Figura 10 são expostos os indicadores de graus hora para resfriamento resultantes das simulações das 50 habitações, para cada ambiente de permanência prolongada.

Figura 10 – Indicador de graus hora de resfriamento dos ambientes de permanência prolongada das habitações.

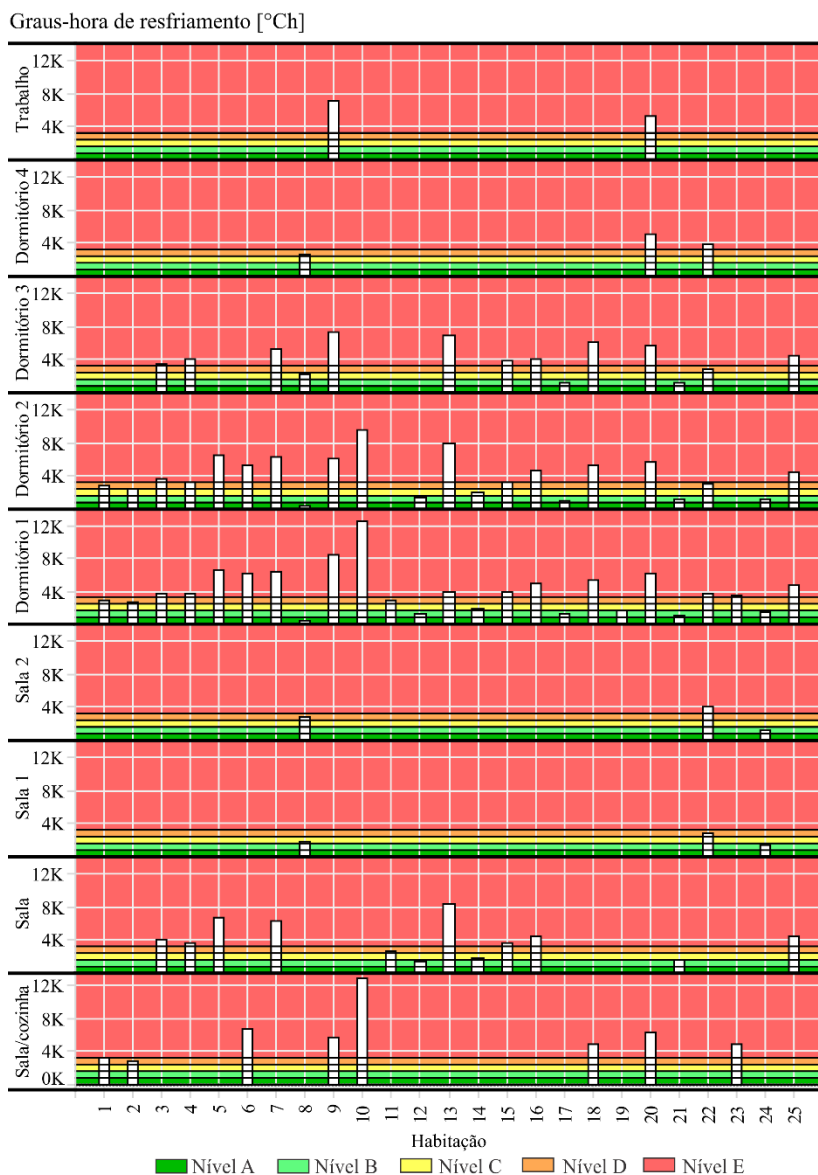
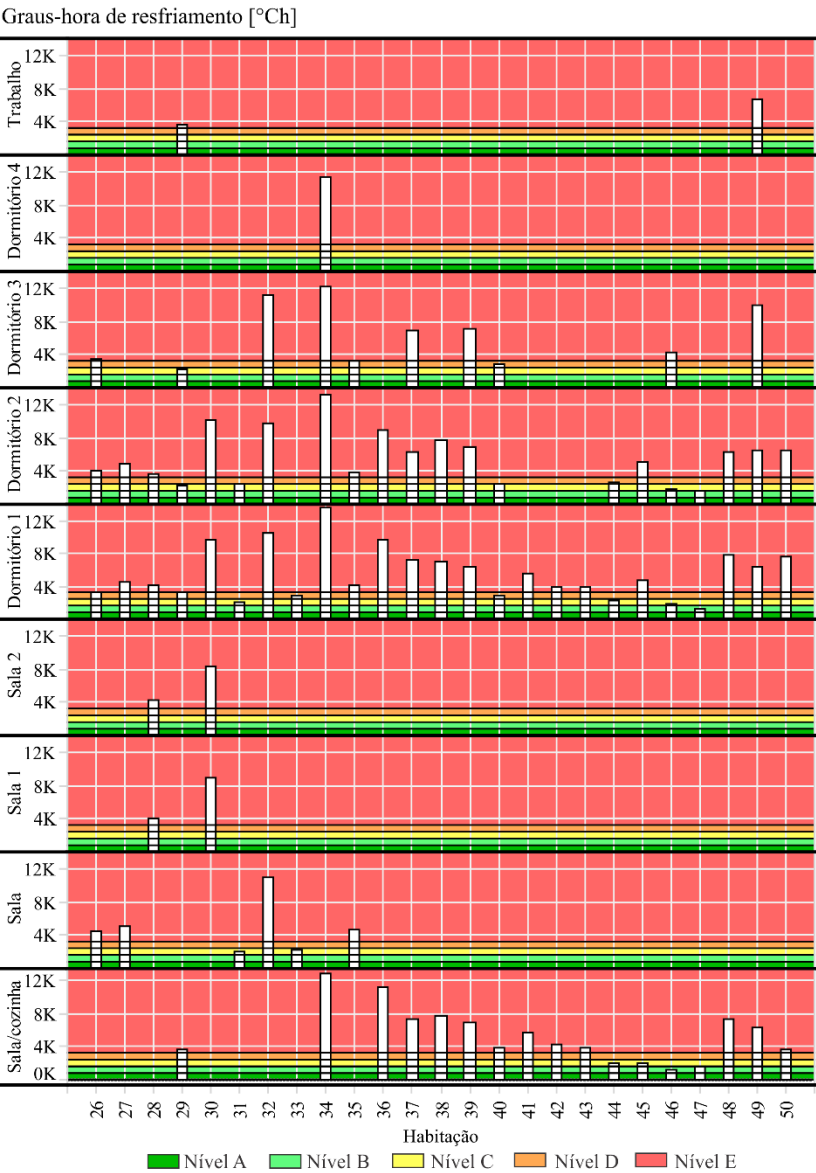


Figura 10 – Indicador de graus hora de resfriamento dos ambientes de permanência prolongada das habitações (continuação).



A habitação que possui o maior valor de indicador de graus hora para resfriamento é a habitação 34, que obteve os indicadores dos seus ambientes de permanência prolongada entre 11391°Ch e 13601°Ch. Pode-se relacionar os valores altos às propriedades da envoltória desta habitação, que é composta por paredes de madeira na maior parte de seus ambientes, e também, por estar sobre pilotis, que contribui para uma maior transferência de calor entre o meio externo e a habitação.

A habitação 10, que também possui altos valores de indicadores de graus hora, é composta de paredes de madeira na maior parte de seus ambientes e parte deles é coberta apenas por telhas de fibrocimento. Pode-se dizer que o uso desses materiais é uma das causas dos resultados insatisfatórios para a habitação devido às suas propriedades térmicas, pois estas prejudicam o desempenho térmico das habitações.

As habitações 12, 17, 19, 21, 24, 31 e 33 obtiveram resultados de valores médios de indicadores de graus hora relativamente baixos. Os graus hora para resfriamento variaram entre 1081°Ch e 2826°Ch nos ambientes de permanência prolongada. Estas habitações possuem basicamente as mesmas características construtivas: estão em contato com o solo; possuem a cobertura voltada para o exterior; possuem paredes compostas por blocos cerâmicos de 6 furos cobertos por duas camadas de argamassa; e possuem coberturas, na totalidade dos ambientes ou em sua maioria, compostas de forro de madeira e telhas de fibrocimento.

Foi realizada apenas uma análise comparativa superficial entre os resultados dos indicadores de graus hora para resfriamento dos ambientes de permanência prolongada das habitações. Estes resultados estão também relacionados a outros fatores não detalhados aqui, como a quantidade de ambientes de permanência prolongada em cada habitação, suas áreas internas, as áreas das aberturas externas, entre outros.

Na simulação para a segunda condição foram gerados os consumos horários para aquecimento e resfriamento de cada um dos ambientes de permanência prolongada para um ano de simulação. Foram somados os consumos horários obtendo-se os consumos anuais para aquecimento e resfriamento. A partir das Equações 2 e 3 foram calculados os consumos relativos para aquecimento e refrigeração para cada ambiente de permanência prolongada.

Na Figura 11 estão expostos os consumos relativos para resfriamento resultantes de todos os ambientes de permanência prolongada das 50 habitações.

Figura 11 – Consumo relativo para resfriamento resultante de todos os ambientes de permanência prolongada de todas as habitações.

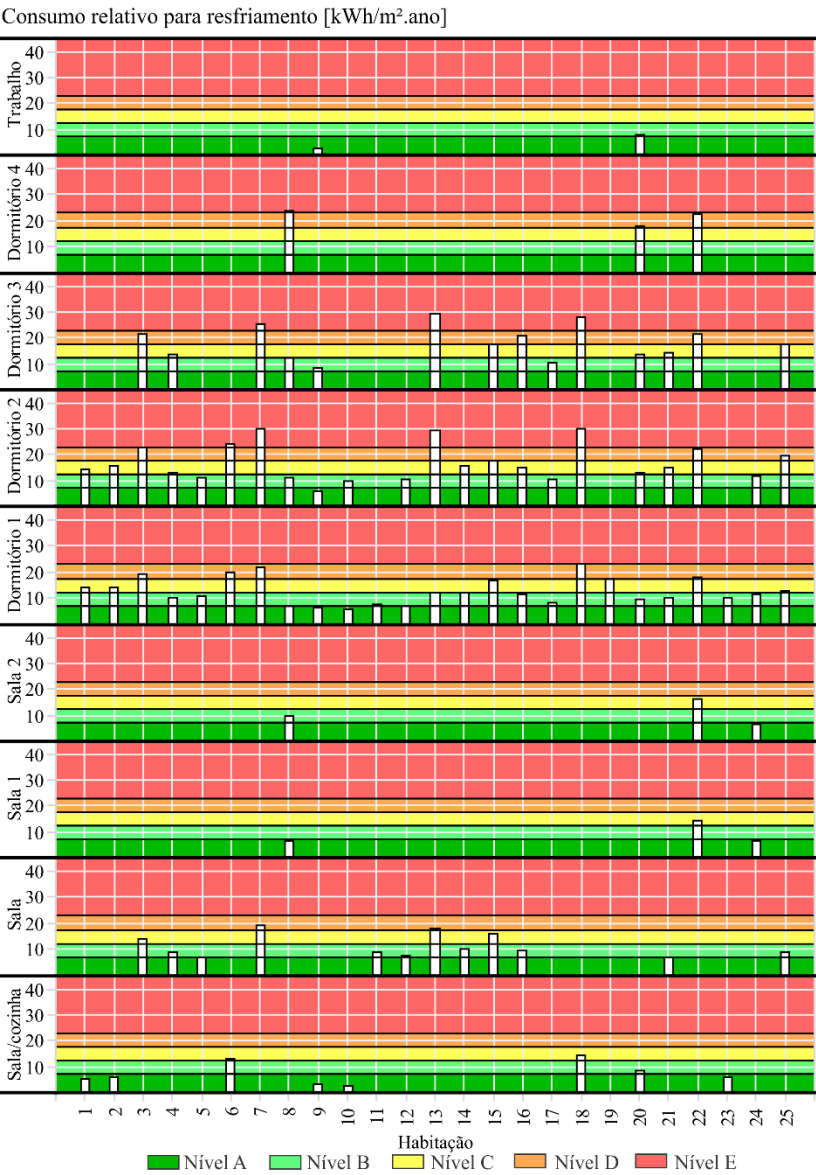
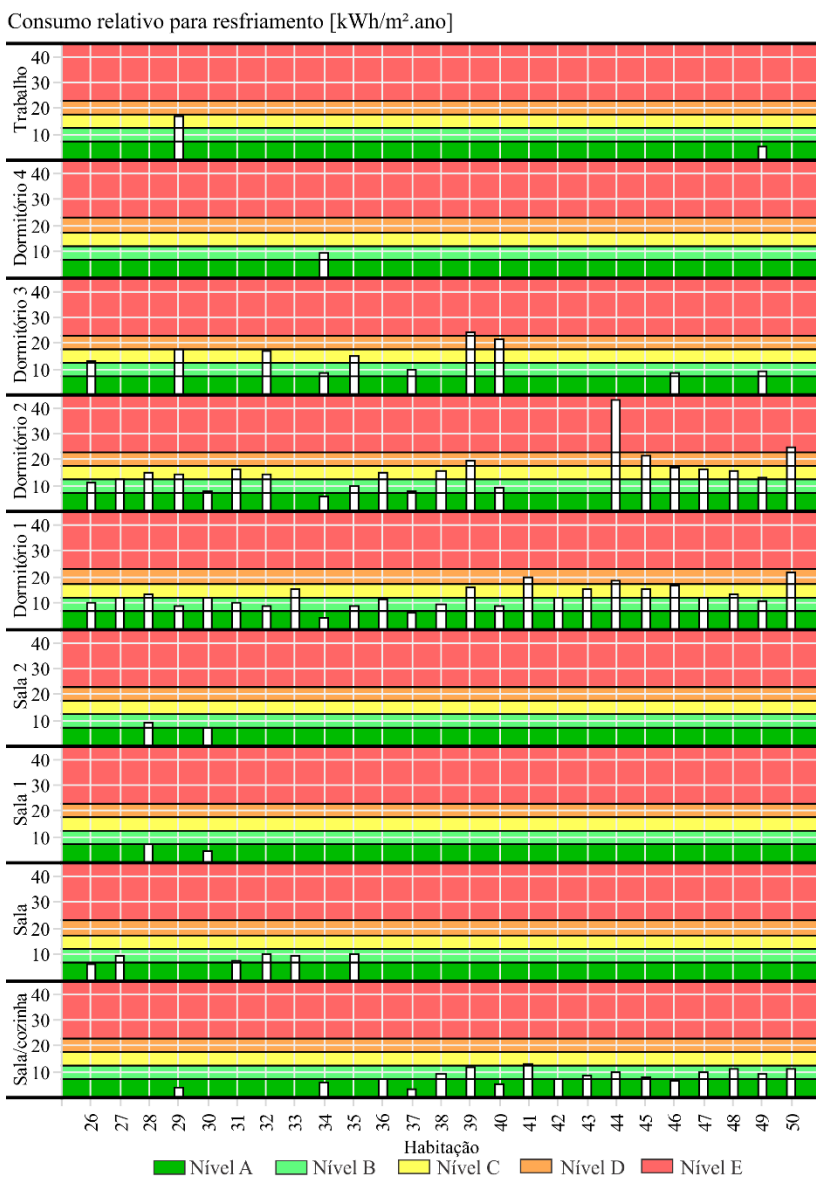


Figura 11 – Consumo relativo para resfriamento resultante de todos os ambientes de permanência prolongada de todas as habitações (continuação).



Para os resultados de consumo relativo para resfriamento as médias ponderadas em relação às áreas dos ambientes de permanência prolongada variaram entre 6,3 kWh/m².ano e 26,6 kWh/m².ano. A habitação 22 obteve o maior consumo relativo para aquecimento, variando entre 18,2 kWh/m².ano e 22,5 kWh/m².ano nos seus ambientes de permanência prolongada. A habitação 34 obteve o menor consumo relativo para aquecimento, variando entre 4,3 kWh/m².ano e 9,8 kWh/m².ano nos seus ambientes de permanência prolongada.

Na Figura 12 estão expostos, respectivamente, os consumos relativos para aquecimento resultantes de todos os ambientes de permanência prolongada das 50 habitações.

Para os resultados de consumo relativo para aquecimento as médias ponderadas em relação às áreas dos ambientes de permanência prolongada variaram entre 15,4 kWh/m².ano e 38,8 kWh/m².ano. A habitação 34 obteve o maior consumo relativo para aquecimento, variando entre 26,9 kWh/m².ano e 73,0 kWh/m².ano nos seus ambientes de permanência prolongada. A habitação 18 obteve o menor consumo relativo para aquecimento, variando entre 12,2 kWh/m².ano e 16,7 kWh/m².ano nos seus ambientes de permanência prolongada.

Para os resultados obtidos de consumos relativos para aquecimento e refrigeração, não foi possível estabelecer uma relação dos resultados com as características construtivas relacionadas na Tabela 10, por não haver uma aparente correlação entre os resultados e as características construtivas. A análise detalhada sobre a influência dos parâmetros físicos e geométricos está apresentada no item 4.3.

Os valores resultantes dos indicadores de graus hora para resfriamento e os consumos relativos para aquecimento e resfriamento encontram-se na Tabela 32 localizada no Apêndice A. Nesta tabela também se encontra a listagem dos ambientes de permanência prolongada de cada habitação avaliada, juntamente com a área útil dos mesmos.

Figura 12 – Consumo relativo para aquecimento resultante de todos os ambientes de permanência prolongada de todas as habitações.

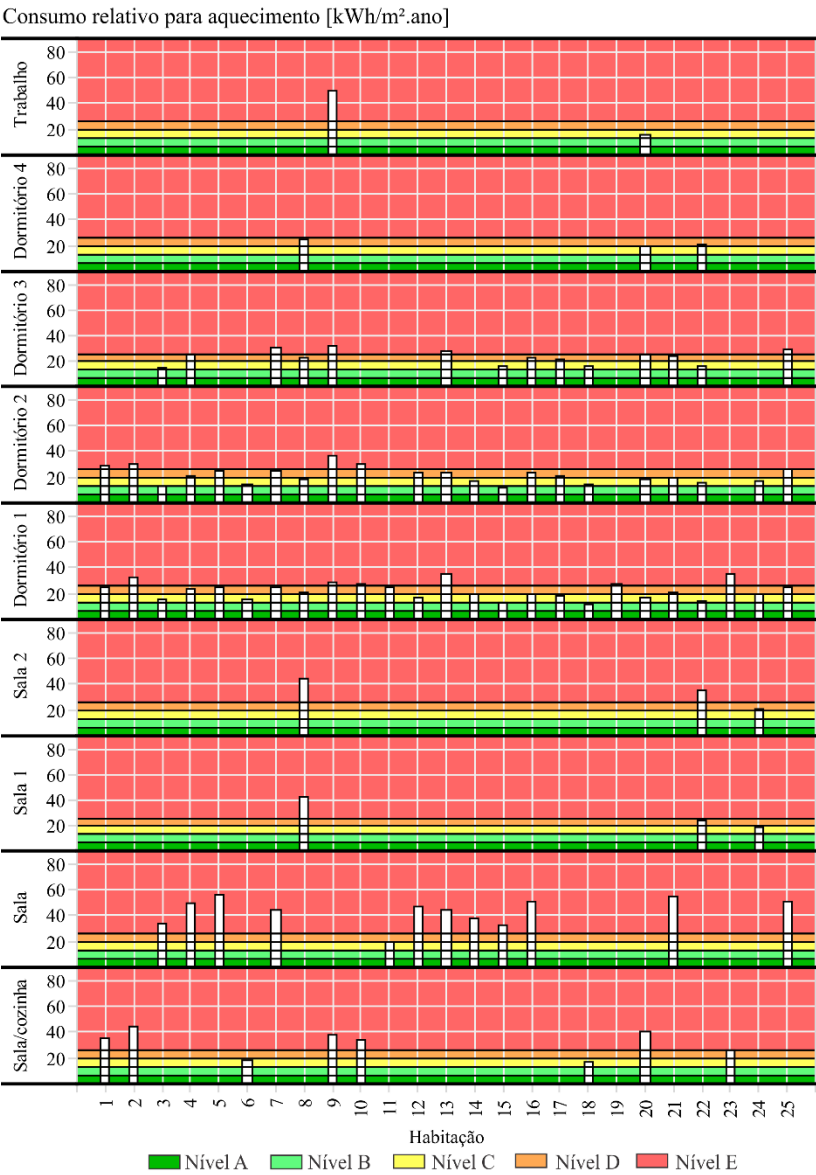
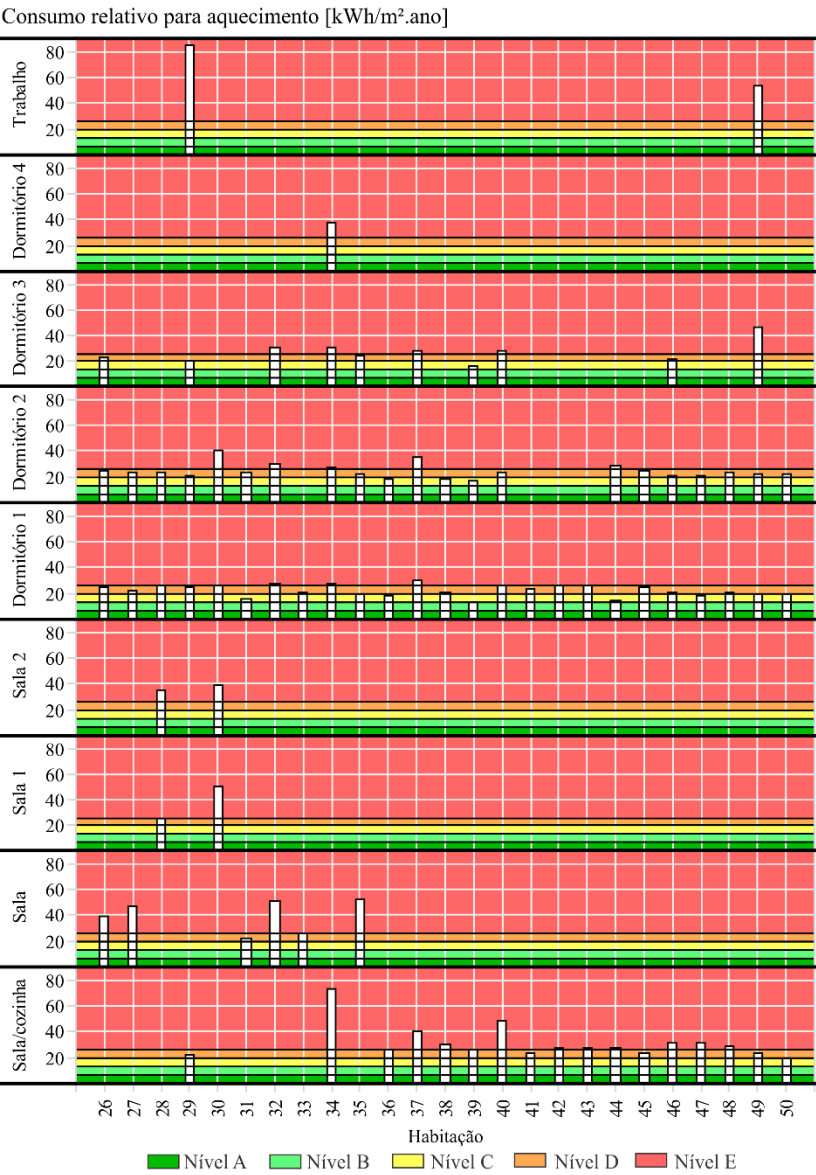


Figura 12 – Consumo relativo para aquecimento resultante de todos os ambientes de permanência prolongada de todas as habitações (continuação).



4.2.2 Pré-requisitos para ambientes de permanência prolongada

Na Tabela 33, que se encontra no Apêndice B, podem ser vistas as áreas de abertura para ventilação e iluminação de cada ambiente de permanência prolongada das habitações, juntamente com os resultados da avaliação dos pré-requisitos dos mesmos. As avaliações foram realizadas conforme descrito nos itens 3.2.5 e 3.2.6.

Dos 178 ambientes de permanência prolongada encontrados nas habitações apenas 42 atendem ao pré-requisito de ventilação natural e 45 atendem ao pré-requisito de iluminação natural, o que corresponde a 24% e 25% do total dos ambientes, respectivamente. Nota-se que apenas 30 ambientes atenderam aos dois pré-requisitos avaliados, e apenas uma das 50 habitações (nº 5) atendeu aos pré-requisitos de iluminação e ventilação natural em todos os seus ambientes de permanência prolongada. Todas as habitações atendem ao pré-requisito de abertura para ventilação dos banheiros e apenas as habitações 5, 7 e 45 não atendem ao pré-requisito de ventilação cruzada.

Os resultados mostram que as habitações, em sua maioria, não atendem aos valores mínimos de iluminação natural e ventilação natural exigidos para obter um nível de classificação “A” ou “B” pelo RTQ-R.

4.2.3 Equivalentes numéricos dos ambientes de permanência prolongada antes e depois da avaliação dos pré-requisitos

Os resultados dos indicadores de graus hora para resfriamento e consumos relativos para resfriamento e aquecimento (que podem ser vistos na Tabela 32 no Apêndice A) foram convertidos em equivalentes numéricos através das Tabelas 2, 3 e 4, respectivamente. Após a avaliação dos pré-requisitos realizada no item anterior a este, foram reavaliados os resultados dos equivalentes numéricos conformes as condições impostas pelo RTQ-R apresentadas no item 3.2.5. Os ambientes de permanência prolongada que obtiveram resultados superiores a equivalente numérico 3, porém, que não atenderam aos pré-requisitos (conforme calculado na Tabela 33), foram penalizados com a redução de seus equivalentes numéricos para 3.

A Tabela 34, localizada no Apêndice C, apresenta os equivalentes numéricos dos ambientes de permanência prolongada encontrados a partir das variáveis de saída das simulações mostradas na Tabela 32, juntamente

com os equivalentes numéricos encontrados após a avaliação dos pré-requisitos, mostrados na Tabela 33.

A partir da Tabela 34 foi verificado que, para o equivalente numérico relacionado aos graus hora de resfriamento dos ambientes de permanência prolongada das habitações, de três ambientes que haviam sido classificados com equivalente numérico igual a 5, duas tiveram sua classificação rebaixada para 3, e de 17 ambientes que haviam sido classificadas com equivalente numérico igual 4, 13 foram rebaixadas para 3.

Para o equivalente numérico relacionado ao consumo relativo para resfriamento dos ambientes de permanência prolongada das habitações, de 11 ambientes que haviam sido classificados com equivalente numérico igual a 5, 10 tiveram sua classificação rebaixada para 3, e de 40 ambientes que haviam sido classificadas com equivalente numérico igual a 4, 29 foram rebaixadas para 3.

Para o equivalente numérico relacionado ao consumo relativo para aquecimento dos ambientes de permanência prolongada das habitações, nenhum dos 178 ambientes avaliados foi classificado com equivalente numérico igual a 5, e de três ambientes que haviam sido classificadas com equivalente numérico igual a 4, todos os três foram rebaixadas para 3.

A partir da comparação entre os equivalentes numéricos antes e depois da avaliação dos pré-requisitos, notou-se que houve uma redução drástica dos valores resultantes para os ambientes de permanência prolongada, motivado pelo não atendimento das porcentagens mínimas de abertura para iluminação e ventilação natural das janelas dos ambientes.

4.2.4 Equivalentes numéricos e níveis de eficiência energética das habitações

A partir dos equivalentes numéricos resultantes para os ambientes de permanência prolongada das habitações (Tabela 34), foram calculados os equivalentes numéricos da envoltória das habitações para aquecimento e para resfriamento, a partir das Equações 5 e 6, respectivamente. Também foram calculados os equivalentes numéricos da envoltória das habitações relacionados aos consumos para resfriamento, porém estes valores não são utilizados no cálculo do equivalente numérico final da envoltória.

Na análise do pré-requisito de ventilação cruzada para as habitações (conforme descrito no item 3.2.6) foi verificado que apenas as

habitações 5, 7 e 45 não atendem ao mesmo. O não atendimento não alterou os resultados dos equivalentes numéricos, pois estes já eram inferiores a 3. Todas as habitações analisadas possuem abertura para ventilação natural em pelo menos 50% dos banheiros existentes, o que também não ocasiona redução de seus equivalentes numéricos finais de envoltória.

A Tabela 11 apresenta os resultados obtidos para os equivalentes numéricos relacionados aos graus hora de resfriamento e aos consumos relativos para aquecimento e resfriamento da envoltória das habitações, bem como o equivalente numérico final calculado através da Equação 8 e o nível de eficiência energética da envoltória resultante para cada habitação, conforme a Tabela 5.

Tabela 11 – Equivalentes numéricos finais e níveis de eficiência energética da envoltória das habitações.

Habitação	Equivalente Numérico			EqNumEnv	Nível
	GHR	CR	CA		
1	2,0	3,0	1,2	1,7	D
2	2,2	3,0	1,0	1,8	D
3	1,0	2,0	2,3	1,5	E
4	1,0	3,0	1,7	1,2	E
5	1,0	4,0	1,7	1,2	E
6	1,0	1,6	3,0	1,7	D
7	1,0	1,4	1,5	1,2	E
8	2,5	2,4	1,8	2,3	D
9	1,0	3,0	1,0	1,0	E
10	1,0	3,0	1,0	1,0	E
11	2,0	4,0	2,0	2,0	D
12	3,0	3,0	2,3	2,7	C
13	1,0	1,8	1,2	1,1	E
14	3,0	3,0	2,3	2,8	C
15	1,0	2,7	2,4	1,5	D
16	1,0	2,8	2,0	1,4	E
17	3,0	3,3	2,4	2,8	C
18	1,0	1,0	3,0	1,7	D
19	3,0	3,0	1,0	2,3	D
20	1,0	2,8	2,3	1,5	E
21	3,2	3,0	1,7	2,7	C
22	1,5	2,0	2,3	1,8	D
23	1,0	3,0	1,0	1,0	E
24	3,7	4,0	2,7	3,3	C

Tabela 11 – Equivalentes numéricos finais e níveis de eficiência energética da envoltória das habitações (continuação).

Habitação	Equivalente Numérico			EqNumEnv	Nível
	GHR	CR	CA		
25	1,0	2,5	1,3	1,1	E
26	1,0	3,3	1,6	1,2	E
27	1,0	3,0	1,7	1,2	E
28	1,0	3,0	1,6	1,2	E
29	1,5	2,7	1,9	1,6	D
30	1,0	3,0	1,0	1,0	E
31	2,8	3,7	2,4	2,7	C
32	1,0	3,0	1,0	1,0	E
33	2,5	3,0	1,5	2,1	D
34	1,0	3,1	1,0	1,0	E
35	1,0	3,0	1,8	1,3	E
36	1,0	3,0	2,1	1,4	E
37	1,0	3,0	1,0	1,0	E
38	1,0	3,0	1,8	1,3	E
39	1,0	2,2	2,1	1,4	E
40	1,6	2,8	1,2	1,5	E
41	1,0	2,0	2,0	1,4	E
42	1,0	3,0	1,0	1,0	E
43	1,0	3,0	1,0	1,0	E
44	2,9	1,7	1,7	2,4	D
45	2,0	1,5	2,5	2,2	D
46	2,2	3,0	2,2	2,2	D
47	3,0	3,0	1,9	2,6	C
48	1,0	3,0	1,5	1,2	E
49	1,0	3,7	1,5	1,2	E
50	1,0	1,5	2,0	1,4	E

A partir dos resultados encontrados na Tabela 11 foi elaborada a Figura 13, com a distribuição de frequência dos níveis de eficiência energética obtidos na avaliação das habitações. Observa-se pela Figura 13 que 29 habitações, o que corresponde a 58% da amostra, resultaram em nível "E" de eficiência energética, enquanto 14 (28%) resultaram em nível "D" e sete (14%) resultaram em nível "C". Nenhuma das habitações foi classificada com nível "A" ou "B" nas análises.

Foram calculados também os equivalentes numéricos para as habitações desconsiderando a avaliação dos pré-requisitos. Os resultados foram comparados aos equivalentes após a avaliação dos mesmos. Na

Figura 14, podem ser comparados os resultados dos equivalentes numéricos finais da envoltória das habitações sem e com a avaliação dos pré-requisitos. Observa-se que as habitações 8 e 19 tiveram seus equivalentes numéricos reduzidos de 3 para 2 (C para D) e o equivalente numérico da habitação 24 foi rebaixado de 4 para 3 (B para D).

Figura 13 – Distribuição de frequência dos níveis de eficiência energética resultantes para a amostra.

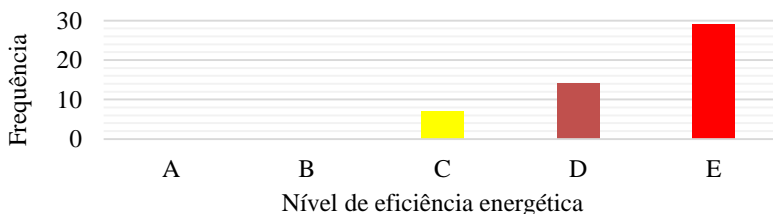
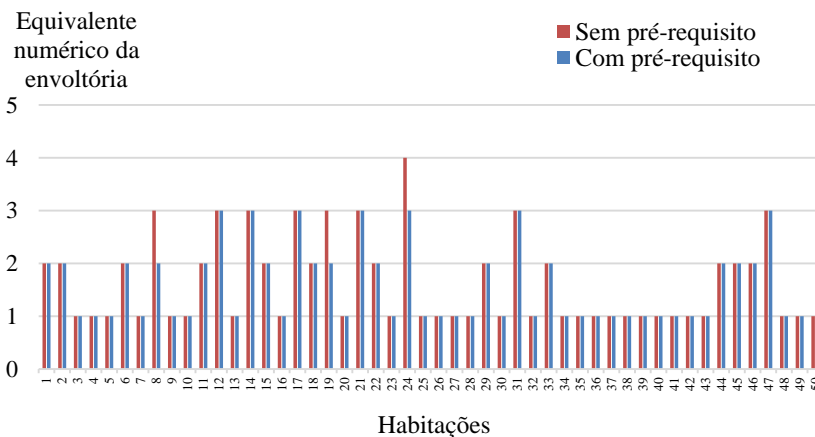


Figura 14 – Comparação entre os equivalentes numéricos finais da envoltória das habitações sem avaliação dos pré-requisitos e com avaliação dos pré-requisitos.



4.2.5 Considerações finais para a avaliação do nível de eficiência energética da envoltória das habitações pelo método de simulação do RTQ-R

Através dos resultados obtidos pelo tratamento dos dados de saída das simulações computacionais, pode-se notar que o desempenho termoenergético da envoltória das habitações é, de um modo geral, insatisfatório.

Considerando que os resultados dos equivalentes numéricos encontrados para as habitações são inferiores a 3 (equivalente numérico médio), pode-se dizer que, para a amostra de habitações analisada, o atendimento ou não dos pré-requisitos de ventilação e iluminação natural, bem como o pré-requisito de ventilação cruzada é irrelevante na determinação do equivalente numérico final e do nível de eficiência energética da envoltória.

No item seguinte, serão analisados os fatores determinantes para os valores insatisfatórios alcançados através da análise da influência dos parâmetros físicos e geométricos nos indicadores de graus hora para resfriamento, bem como nos consumos relativos para aquecimento e resfriamento.

4.3 PLANEJAMENTO DE EXPERIMENTO FATORIAL

Este item apresenta os resultados obtidos a partir da aplicação da terceira etapa do método proposto. São expostos resultados obtidos para o pré-processamento e o pós-processamento.

4.3.1 Pré-processamento – Determinação de grupos de tipologias

A Tabela 12 apresenta as configurações dos ambientes das habitações que compõem os grupos de tipologias. Estes grupos foram criados com base nas configurações dos ambientes de permanência prolongada das habitações. Entre os grupos, estão caracterizadas 38 habitações, sendo que as 12 restantes não se enquadram nos grupos formados e não possuem representatividade na amostra. Entre as 12 habitações não representativas, estão duas habitações que não possuem ambiente de sala, bem como duas habitações que são compostas de duas salas e quatro dormitórios, entre outros.

Tabela 12 – Grupos de tipologias da amostra.

Grupo	Configuração dos ambientes	Quantidade	Ocorrência
1	Sala ou Sala/cozinha + 1 Dormitório	6	12%
2	Sala/cozinha + 2 Dormitórios	11	22%
3	Sala + 2 Dormitórios	5	10%
4	Sala/cozinha + 3 Dormitórios	5	10%
5	Sala + 3 Dormitórios	11	22%

As Tabelas 13 a 17 expõem quais habitações que se enquadram em cada grupo formado, juntamente com suas áreas úteis em m².

Tabela 13 – Habitações que compõem o Grupo 1.

Habitação	Sala ou Sala/cozinha [m²]	Dormitório [m²]	Total [m²]
11	17,60	14,52	32,12
23	17,41	5,92	23,33
33	9,15	9,00	18,15
41	19,28	9,00	28,28
42	19,28	9,00	28,28
43	19,28	9,00	28,28
Total	102,00	56,44	158,44
Média	17,00	9,41	26,41

Tabela 14 – Habitações que compõem o Grupo 2.

Habitação	Sala/cozinha [m²]	Dormitório 1 [m²]	Dormitório 2 [m²]	Total [m²]
1	16,50	7,50	6,25	30,25
2	12,56	5,50	5,36	23,42
6	25,88	10,64	7,90	44,42
10	24,03	11,49	6,34	41,86
36	20,00	13,31	9,54	42,84
38	21,21	14,34	10,14	45,69
44	10,84	7,19	2,88	20,91
45	18,65	9,48	7,89	36,02
47	11,53	9,24	7,25	28,03
48	18,82	8,70	7,35	34,87
50	18,65	9,48	7,89	36,02
Total	198,67	106,86	78,79	384,32
Média	18,06	9,71	7,16	34,94

Tabela 15 – Habitações que compõem o Grupo 3.

Habitação	Sala [m²]	Dormitório 1 [m²]	Dormitório 2 [m²]	Total [m²]
5	7,50	7,50	7,50	22,50
12	7,49	15,00	8,59	31,08
14	9,52	10,25	8,83	28,59
27	8,41	9,89	8,97	27,27
31	11,17	12,40	6,40	29,96
Total	44,08	55,04	40,29	139,41
Média	8,82	11,01	8,06	27,88

Tabela 16 – Habitações que compõem o Grupo 4.

Habitação	Sala/cozinha [m²]	Dormitório 1 [m²]	Dormitório 2 [m²]	Dormitório 3 [m²]	Total [m²]
18	32,24	11,21	7,51	7,51	58,47
37	24,05	9,86	7,35	6,96	48,22
39	17,25	10,53	6,79	5,41	39,97
40	14,81	7,74	7,74	4,96	35,24
46	18,67	8,24	7,64	21,61	56,15
Total	107,01	47,57	37,02	46,45	238,05
Média	21,40	9,51	7,40	9,29	47,61

Tabela 17 – Habitações que compõem o Grupo 5.

Habitação	Sala [m²]	Dormitório 1 [m²]	Dormitório 2 [m²]	Dormitório 3 [m²]	Total [m²]
3	13,27	9,29	9,29	8,54	40,39
4	12,24	10,63	8,83	8,31	40,01
7	13,74	9,97	7,12	7,12	37,95
13	13,13	9,10	7,25	5,88	35,35
15	14,16	13,60	11,62	10,33	49,72
16	10,03	11,60	7,67	5,80	35,10
21	9,30	8,95	6,31	6,08	30,63
25	10,94	8,69	5,29	5,29	30,20
26	16,91	9,69	9,12	7,98	43,70
32	14,54	15,00	9,80	8,40	47,73
35	10,35	15,00	12,96	7,80	46,11
Total	138,59	121,52	95,26	81,52	436,89
Média	12,60	11,05	8,66	7,41	39,72

4.3.2 Pré-processamento – Tipologias representativas

A Tabela 18 mostra os valores dos limites superiores e inferiores das áreas úteis de cada ambiente de permanência prolongada, para cada um dos grupo de tipologias determinados, calculados a partir da Equação 10.

Tabela 18 – Limites inferiores e superiores de área para determinação de uma tipologia representativa para cada grupo.

Grupo	Ambiente	Limite inferior [m²]	Limite superior [m²]
1	Sala ou Sala/cozinha	12,86	21,12
	Dormitório 1	6,48	12,34
	Área total	21,25	31,56
2	Sala/cozinha	14,77	21,35
	Dormitório 1	7,95	11,47
	Dormitório 2	5,83	8,49
	Área total	29,25	40,63
3	Sala	6,88	10,76
	Dormitório 1	7,50	14,52
	Dormitório 2	6,71	9,41
	Área total	23,75	32,01
4	Sala/cozinha	12,78	30,02
	Dormitório 1	7,67	11,35
	Dormitório 2	6,94	7,86
	Dormitório 3	4,27	8,15
	Área total	35,16	60,06
5	Sala	9,76	15,44
	Dormitório 1	8,06	14,04
	Dormitório 2	5,84	11,48
	Dormitório 3	5,51	9,31
	Área total	31,50	47,94

Ao final, foram encontradas as tipologias representativas que se enquadram nos limites calculados. As habitações componentes de cada grupo, que foram definidas como tipologias representativas são apresentadas nas Tabelas 19 a 23. São apresentadas informações sobre as dimensões juntamente com a modelagem realizada no *plugin* do *SketchUp*, e uma foto da habitação.

Tabela 19 – Tipologia representativa do Grupo 1.

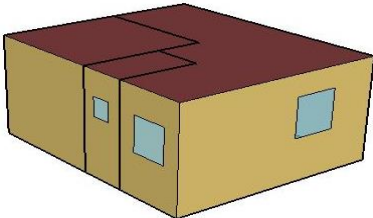

Grupo	1	Ambiente	Área [m²]
Habitação	41	Sala/cozinha	19,28
Pavimentos	1	Dormitório	9,00
Área de parede [m²]	59,39	Banheiro	2,24
Área de cobertura [m²]	30,52	Foto da habitação:	
Área parede/área cobertura	1,9		
Modelo para simulação:			
			

Tabela 20 – Tipologia representativa do Grupo 2.

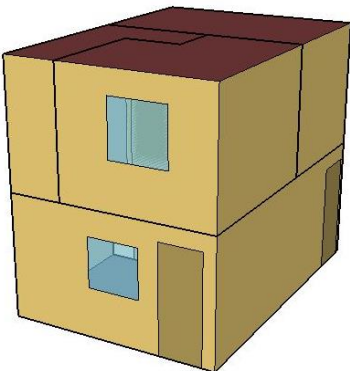

Tabela 28 – Tipologia representativa do Grupo 2.			
Grupo	2	Ambiente	Área [m²]
Habitação	45	Sala/cozinha	18,65
Pavimentos	2	Dormitório 1	9,48
Área de parede [m²]	113,98	Dormitório 2	7,89
Área de cobertura [m²]	21,57	Banheiro	2,92
Área parede/área cobertura	5,3	Circulação	4,20
Modelo para simulação: 		Foto da habitação: 	

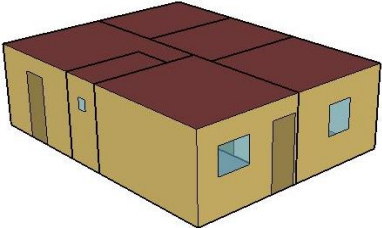

Tabela 21 – Tipologia representativa do Grupo 3.

Grupo	3	Ambiente	Área [m ²]
Habitação	27	Sala	8,41
Pavimentos	1	Dormitório 1	9,89
Área de parede [m ²]	80,29	Dormitório 2	8,97
Área de cobertura [m ²]	59,92	Cozinha	15,37
Área parede/área cobertura	1,3	Área de serviço	12,74
Modelo para simulação:		Banheiro	4,54
		Foto da habitação:	
			

Tabela 22 – Tipologia representativa do Grupo 4.

Grupo	4	Ambiente	Área [m ²]
Habitação	37	Sala/cozinha	24,05
Pavimentos	1	Dormitório 1	9,86
Área de parede [m ²]	84,69	Dormitório 2	7,35
Área de cobertura [m ²]	52,22	Dormitório 3	6,96
Área parede/área cobertura	1,6	Banheiro	4,00
Modelo para simulação:		Foto da habitação:	
			
			

Tabela 23 – Tipologia representativa do Grupo 5.

Grupo	5	Ambiente	Área [m ²]
Habitação	4	Sala	12,24
Pavimentos	1	Dormitório 1	10,63
Área de parede [m ²]	79,74	Dormitório 2	8,83
Área de cobertura [m ²]	56,57	Dormitório 3	8,31
Área parede/área cobertura	1,4	Cozinha	13,49
Modelo para simulação:		Banheiro	3,07
		Foto da habitação:	
			

4.3.3 Pós-processamento – Influência dos parâmetros nas variáveis de saída

As Tabelas 24, 25 e 26 apresentam, respectivamente, os dois parâmetros mais influentes nos resultados de indicadores de graus hora, e consumos relativos para resfriamento e aquecimento para os ambientes de permanência prolongada das tipologias representativas.

Na Tabela 24 pode-se observar que, para as tipologias representativas, o parâmetro mais influente nos resultados de indicadores de graus hora é a absorvância solar das paredes externas, seguido sempre da absorvância solar da cobertura. A influência da absorvância solar das paredes externas variou entre 23% e 73%, já a influência da absorvância solar da cobertura variou entre 8% e 19%. Pode-se observar também que há uma proporcionalidade na ordem das influências da absorvância solar das paredes externas com a relação entre as áreas de paredes externas e de cobertura de cada habitação. As tipologias representativas dos Grupos 3 e 5, que possuem menores valores de relação entre área de paredes externas e área de cobertura (1,3 e 1,4, respectivamente), possuem também influências de absorvância solar das paredes externas menores ao se comparar com as demais tipologias. A tipologia representativa do Grupo 2 é a habitação que sofre a maior influência da absorvância solar

da paredes externas, e possui a área de paredes externas 5,3 vezes maior que a área de cobertura.

Tabela 24 – Os dois parâmetros mais influentes para os resultados de indicadores de graus hora para resfriamento.

Grupo	Ambiente	Parâmetro	Influência (%)
1	Sala/cozinha	Absortância da parede	43
		Absortância da cobertura	12
	Dormitório 1	Absortância da parede	41
		Absortância da cobertura	11
2	Sala/cozinha	Absortância da parede	73
		Transmitância da parede	12
	Dormitório 1	Absortância da parede	58
		Absortância da cobertura	8
	Dormitório 2	Absortância da parede	56
		Absortância da cobertura	9
3	Sala	Absortância da parede	34
		Absortância da cobertura	15
	Dormitório 1	Absortância da parede	23
		Absortância da cobertura	19
	Dormitório 2	Absortância da parede	34
		Absortância da cobertura	15
4	Sala/cozinha	Absortância da parede	38
		Absortância da cobertura	13
	Dormitório 1	Absortância da parede	43
		Absortância da cobertura	11
	Dormitório 2	Absortância da parede	46
		Absortância da cobertura	10
	Dormitório 3	Absortância da parede	32
		Absortância da cobertura	15
5	Sala	Absortância da parede	29
		Absortância da cobertura	16
	Dormitório 1	Absortância da parede	34
		Absortância da cobertura	14
	Dormitório 2	Absortância da parede	23
		Absortância da cobertura	18
	Dormitório 3	Absortância da parede	37
		Absortância da cobertura	13

Analisando a Tabela 25, pode-se notar que a absortância das paredes externas também é o parâmetro mais influente nos resultados de consumo relativo para resfriamento, seguido ora pela transmitância

térmica das paredes, ora pela situação de contato do piso com o solo. A influência da absorvância solar das paredes externas variou entre 25% e 64%, já a influência da transmitância térmica das paredes externas variou entre 11% e 19%, e a influência do contato do piso da habitação com o solo variou entre 9% e 15%.

Tabela 25 – Os dois parâmetros mais influentes para os resultados de consumo relativo para resfriamento.

Grupo	Ambiente	Parâmetro	Influência (%)
1	Sala/cozinha	Absorvância da parede	30
		Transmitância térmica da parede	17
	Dormitório 1	Absorvância da parede	29
		Transmitância térmica da parede	19
2	Sala/cozinha	Absorvância da parede	64
		Contato do piso	10
	Dormitório 1	Absorvância da parede	54
		Transmitância térmica da parede	14
	Dormitório 2	Absorvância da parede	55
		Transmitância térmica da parede	13
3	Sala	Absorvância da parede	34
		Contato do piso	13
	Dormitório 1	Absorvância da parede	27
		Contato do piso	15
	Dormitório 2	Absorvância da parede	34
		Transmitância térmica da parede	11
4	Sala/cozinha	Absorvância da parede	37
		Contato do piso	9
	Dormitório 1	Absorvância da parede	36
		Transmitância térmica da parede	15
	Dormitório 2	Absorvância da parede	37
		Transmitância térmica da parede	17
	Dormitório 3	Absorvância da parede	31
		Transmitância térmica da parede	13
5	Sala	Absorvância da parede	31
		Contato do piso	14
	Dormitório 1	Absorvância da parede	32
		Transmitância térmica da parede	12
	Dormitório 2	Absorvância da parede	25
		Contato do piso	15
	Dormitório 3	Absorvância da parede	30
		Transmitância térmica da parede	15

Tabela 26 – Os dois parâmetros mais influentes para os resultados de consumo relativo para aquecimento.

Grupo	Ambiente	Parâmetro	Influência (%)
1	Sala/cozinha	Transmitância térmica da parede	34
		Contato da cobertura	26
	Dormitório 1	Transmitância térmica da parede	34
		Contato da cobertura	27
2	Sala/cozinha	Transmitância térmica da parede	59
		Absortância da parede	30
	Dormitório 1	Transmitância térmica da parede	42
		Contato da cobertura	21
	Dormitório 2	Transmitância térmica da parede	38
		Contato da cobertura	23
3	Sala	Contato da cobertura	28
		Transmitância térmica da parede	26
	Dormitório 1	Contato da cobertura	36
		Transmitância térmica da parede	17
	Dormitório 2	Contato da cobertura	30
		Transmitância térmica da parede	26
4	Sala/cozinha	Contato da cobertura	28
		Transmitância térmica da parede	28
	Dormitório 1	Transmitância térmica da parede	35
		Contato da cobertura	26
	Dormitório 2	Transmitância térmica da parede	42
		Contato da cobertura	22
	Dormitório 3	Contato da cobertura	34
		Transmitância térmica da parede	22
5	Sala	Contato da cobertura	31
		Transmitância térmica da parede	22
	Dormitório 1	Contato da cobertura	30
		Transmitância térmica da parede	28
	Dormitório 2	Contato da cobertura	39
		Transmitância térmica da cobertura	16
	Dormitório 3	Transmitância térmica da parede	31
		Contato da cobertura	29

Para os resultados de consumo relativo para aquecimento das tipologias representativas dos grupos vistos na Tabela 26, a maior influência ficou praticamente dividida entre os parâmetros de transmitância térmica das paredes e de contato da cobertura com o exterior. A influência da transmitância térmica das paredes externas

variou entre 17% e 59%, já a influência do contato da cobertura com o exterior variou entre 21% e 36%.

Para os resultados de influência nos consumos relativos para aquecimento e resfriamento não se seguiu o padrão de proporcionalidade encontrado para os indicadores de graus hora.

Nota-se que os parâmetros que exercem maior influência nas variáveis de saída de graus hora de resfriamento e consumos relativos para aquecimento e para resfriamento, foram as absorptâncias solares das paredes externas e da cobertura, a transmitância térmica das paredes externas, e os contatos da habitação com o solo e da cobertura com o exterior. Nota-se, também, que a transmitância térmica das paredes externas é um parâmetro influente no consumo relativo tanto para resfriamento quanto para aquecimento, o que dificultaria a determinação de soluções para otimização do desempenho térmico das habitações, caso a análise fizesse parte do escopo deste estudo.

O resultados encontrados na análise da influência (realizada através do programa Minitab e pela Equação 11) dos parâmetros nos graus hora para resfriamento e nos consumos relativos para aquecimento e refrigeração para os ambientes de permanência prolongada das tipologias representativas estão expostos nas Tabelas 35 a 82 (Apêndice D). Foram expostos os primeiros oito parâmetros mais influentes.

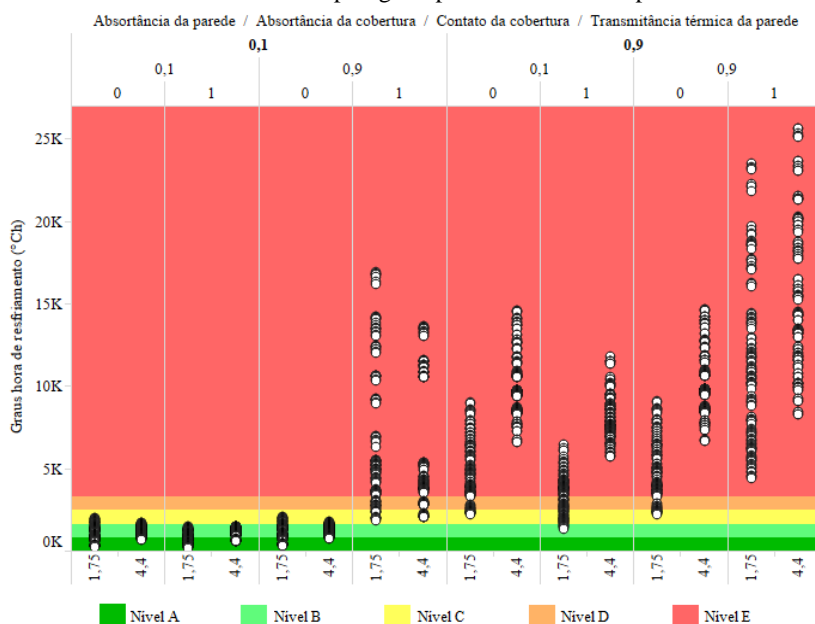
Para melhor compreensão dos efeitos de segunda ordem, foram escolhidos três ambientes de permanência prolongada das tipologias representativas, para uma análise detalhada das influências sobre os resultados de graus hora para resfriamento e dos consumos relativos para aquecimento e resfriamento. Em cada gráfico podem ser vistas as faixas para cada nível de eficiência energética, de acordo com os valores fixados pelo RTQ-R, encontrados nas Tabelas 2, 3 e 4 do item 3.2.4.

Na Figura 15 são encontrados os quatro parâmetros mais influentes nos resultados de graus hora para resfriamento da Sala da tipologia representativa do Grupo 3 (habitação 27). Através da Figura 15 pode-se verificar a influência da interação entre a absorptância solar da cobertura e o contato da cobertura. Quando a cobertura da habitação não está voltada para o exterior (contato da cobertura=0) não há influência da absorptância solar da cobertura, isso faz com que o efeito de segunda ordem exerça uma grande influência nos resultados. Os valores das influências de cada parâmetro podem ser vistos na Tabela 50.

Através da Figura 15 pode-se notar claramente a grande influência que exerce o parâmetro da absorptância solar das paredes externas sobre os resultados de graus hora de resfriamento do ambiente analisado. Nota-se

também que os menores resultados de graus hora para resfriamento foram obtidos nas condições de baixa absorptância solar das paredes externas, e de baixa absorptância solar da cobertura (quando a mesma está voltada para o exterior) ou quando a cobertura da habitação não está voltada para o exterior (contato da cobertura=0). Os piores resultados estão relacionados à habitação quando possui alta absorptância solar das paredes externa; cobertura voltada para o exterior; alta absorptância solar da cobertura; e alta transmitância térmica da parede.

Figura 15 – Parâmetros mais influentes nos graus hora para resfriamento do ambiente Sala da tipologia representativa do Grupo 3.

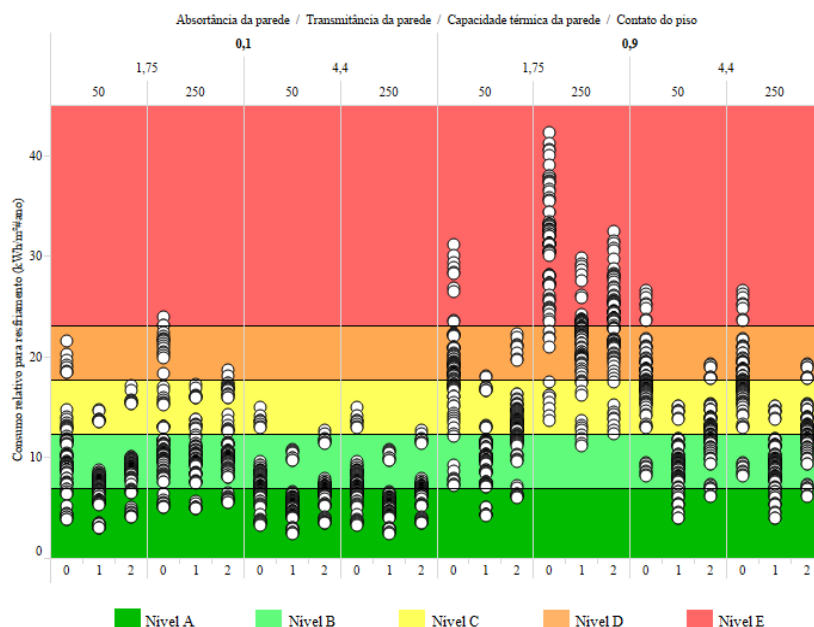


Na Figura 16 são encontrados os quatro parâmetros mais influentes nos resultados de consumo relativo para resfriamento do Dormitório 1 da tipologia representativa do Grupo 4 (habitação 37). Através da Figura 16 pode-se verificar a influência da interação entre a transmitância térmica das paredes externas e a capacidade térmica das paredes externas. Quando a transmitância térmica das paredes externas é alta, a influência da capacidade térmica das paredes externas é desprezível, porém, quando a transmitância é baixa, percebe-se a influência causada pela capacidade

térmica das paredes. Os valores das influências de cada parâmetro podem ser vistos na Tabela 64.

Nota-se na Figura 16 que os resultados das simulações estão melhor distribuídos nas faixas de cada nível de eficiência energética, quando comparado com os resultados de graus hora para resfriamento e de consumo relativo para aquecimento. Os piores resultados encontrados neste caso estão relacionados à habitação quando possui alta absorptância solar das paredes externa; baixa transmitância térmica das paredes externas; alta capacidade térmica das paredes externas; e quando está sobre outro pavimento.

Figura 16 – Parâmetros mais influentes no consumo relativo para resfriamento do ambiente Dormitório 1 da tipologia representativa do Grupo 4.

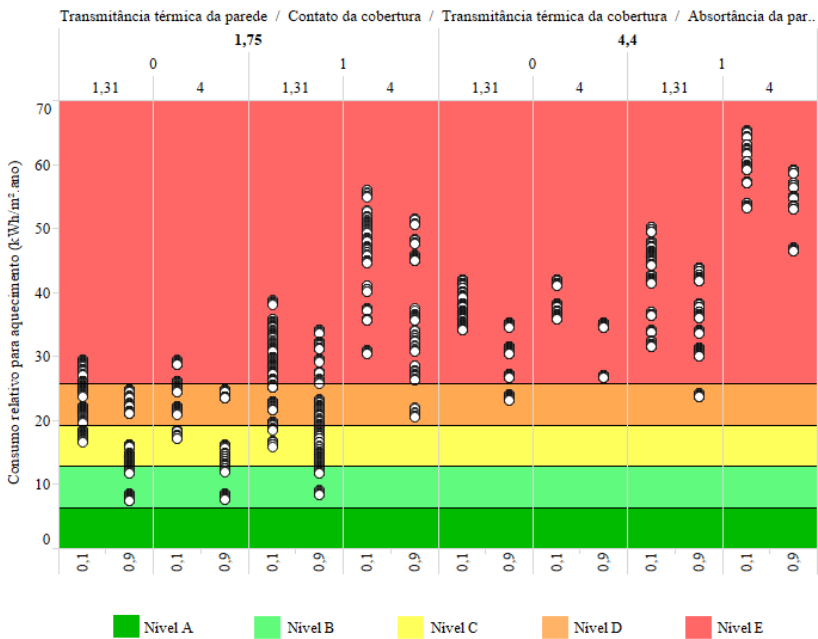


Na Figura 17 são encontrados os quatro parâmetros mais influentes nos resultados de consumo relativo para aquecimento da Sala/Cozinha da tipologia representativa do Grupo 1 (habitação 41). Os valores das influências de cada parâmetro podem ser vistos na Tabela 39. Através da Figura 17 pode-se notar que há uma relação entre o contato da cobertura e a transmitância térmica da cobertura. Quando a cobertura da habitação não está voltada para o exterior (contato da cobertura=0), percebe-se que

a influência da transmitância térmica da cobertura é muito pequena. Ao passo que, quando a cobertura da habitação está voltada para o exterior (contato da cobertura=1), a transmitância da cobertura exerce grande influência nos resultados.

Pode-se notar pela Figura 17 que praticamente todos os resultados de consumo relativo para aquecimento da habitação com alta transmitância térmica foram classificados como nível “E” de eficiência energética. Enquanto os melhores resultados estão associados à habitação quando possui baixa transmitância térmica das paredes externas e sem contato da cobertura com o exterior (contato da cobertura=0).

Figura 17 – Parâmetros mais influentes no consumo relativo para aquecimento do ambiente Sala/Cozinha da tipologia representativa do Grupo 1.



4.3.4 Pós-processamento – Influência dos parâmetros no equivalente numérico final da envoltória

As Tabelas 27 a 31 expõem quais os oito parâmetros que mais influenciam no resultado do equivalente numérico final da envoltória da tipologia representativa para cada um dos grupos analisados.

Tabela 27 – Parâmetros mais influentes para a tipologia representativa do Grupo
1 - Habitação 41.

Parâmetro	Influência
Absortância da parede	46%
Transmitância da parede	11%
Contato da cobertura	9%
Absortância da cobertura	7%
Contato da cobertura*Absortância da cobertura	5%
Absortância da parede*Absortância da cobertura	5%
Capacidade térmica da parede	3%
Transmitância da parede*Capacidade térmica da parede	3%

Tabela 28 - Parâmetros mais influentes para a tipologia representativa do Grupo
2 - Habitação 45.

Parâmetro	Influência
Absortância da parede	72%
Transmitância da parede	9%
Contato da cobertura	5%
Absortância da parede*Absortância da cobertura	2%
Capacidade térmica da parede	2%
Transmitância da parede*Capacidade térmica da parede	2%
Absortância da cobertura	2%
Contato da cobertura*Absortância da cobertura	2%

Tabela 29 – Parâmetros mais influentes para a tipologia representativa do Grupo
3 - Habitação 27.

Parâmetro	Influência
Absortância da parede	43%
Contato da cobertura	14%
Transmitância da parede	9%
Absortância da cobertura	8%
Contato da cobertura*Absortância da cobertura	8%
Absortância da parede*Absortância da cobertura	5%
Contato da cobertura*Absortância da parede	4%
Capacidade térmica da parede	2%

Tabela 30 – Parâmetros mais influentes para a tipologia representativa do Grupo 4 – Habitação 37.

Parâmetro	Influência
Absortância da parede	50%
Contato da cobertura	9%
Transmitância da parede	9%
Absortância da cobertura	7%
Contato da cobertura*Absortância da cobertura	7%
Contato da cobertura*Absortância da parede	4%
Absortância da parede*Absortância da cobertura	4%
Capacidade térmica da parede	2%

Tabela 31 – Parâmetros mais influentes para a tipologia representativa do Grupo 5 – Habitação 4.

Parâmetro	Influência
Absortância da parede	44%
Contato da cobertura	13%
Transmitância da parede	10%
Absortância da cobertura	8%
Contato da cobertura*Absortância da cobertura	7%
Contato da cobertura*Absortância da parede	4%
Absortância da parede*Absortância da cobertura	3%
Capacidade térmica da parede	2%

São encontrados basicamente os mesmos parâmetros mais influentes em todas as cinco tipologias representativas. O primeiro parâmetro mais influente é a absortância das paredes externas, que influencia entre 43% e 72% no resultado do equivalente numérico da envoltória das habitações. O segundo e o terceiro parâmetros mais influentes são o contato da cobertura com o exterior, que influencia entre 5% a 14%, e a transmitância térmica da parede, cuja influência nos equivalentes numéricos varia entre 9% e 11%.

Pode-se notar que a absortância das paredes externas é o parâmetro que exerce maior influência nos equivalentes numéricos finais das habitações representativas. Este fato está relacionado à equação (Equação 8) utilizada para calcular os equivalentes numéricos para a zona bioclimática 3, uma vez que o peso atribuído ao equivalente numérico relativo aos indicadores de graus hora para resfriamento é significativamente maior que o peso associado ao equivalente numérico para aquecimento.

Nota-se também que a absorvência das paredes externas exerce uma influência ainda mais significativa nos resultados de equivalentes numéricos finais da envoltória da habitação 45. Este resultado é relacionado à característica construtiva desta habitação, que é composta de dois pavimentos e que contribui para maior transferência de calor entre os meios internos e externos através das paredes externas.

Ao se comparar os resultados das análises dos dois grupos de resultados (as variáveis de saída das simulações e os equivalentes numéricos finais da envoltória), identificou-se que, para todas as tipologias representativas da amostra, houve uma recorrência no comportamento dos parâmetros mais influentes. Nota-se que o parâmetro mais influente nos equivalentes numéricos da envoltória das tipologias representativas é o parâmetro mais influente nos resultados dos indicadores de graus hora de resfriamento para todos os ambientes de permanência prolongada das mesmas habitações. O segundo e o terceiro parâmetros mais influentes nos equivalentes numéricos da envoltória das tipologias representativas são o primeiro e o segundo parâmetro mais influentes nos resultados de consumo relativo para aquecimento para os ambientes de permanência prolongada das habitações. E o quarto parâmetro mais influente nos equivalentes numéricos da envoltória da maioria das tipologias representativas é o segundo parâmetro mais influente nos resultados dos indicadores de graus hora de resfriamento dos ambientes de permanência prolongada das mesmas habitações.

5 CONCLUSÕES

Na primeira parte deste estudo, foram avaliadas 50 habitações que estão localizadas em Florianópolis (zona bioclimática 3) pelo método de simulação computacional do RTQ-R, através do programa *EnergyPlus*. Verificou-se que 58% das habitações avaliadas tiveram suas envoltórias classificadas como nível “E” de eficiência energética. Através dos resultados alcançados, pôde-se observar que as características encontradas nas habitações não contribuem para um bom desempenho termoenergético.

Foi realizada uma comparação entre os resultados de equivalentes numéricos finais das envoltórias para as habitações antes e depois da avaliação dos pré-requisitos, para avaliar a influência dos mesmos nos resultados finais das envoltórias. Ao final da análise, pôde-se concluir que, como os resultados dos níveis de eficiência energética antes da avaliação dos pré-requisitos eram insatisfatórios, o não atendimento desses mesmos pré-requisitos não resultaria em diminuição dos níveis finais.

Na segunda parte deste estudo, foram determinados os parâmetros físicos e geométricos avaliados no estudo. Estes parâmetros foram classificados como parâmetros fixos ou variáveis na análise. Através dos parâmetros fixos, foram encontradas cinco tipologias representativas para a amostra a fim de viabilizar a análise de influência dos parâmetros físicos e geométricos variáveis nos resultados gerados das simulações computacionais.

As tipologias representativas foram determinadas através da criação de cinco grupos de habitações com configurações de ambientes de permanência prolongada semelhantes. A habitação representativa do primeiro grupo é composta por um ambiente de sala e de cozinha conjugadas, e um dormitório. A habitação representativa do segundo grupo é composta por um ambiente de sala e de cozinha conjugadas, e dois dormitórios. A habitação representativa do terceiro grupo é composta por um ambiente de sala e dois dormitórios. A habitação representativa do quarto grupo é composta por um ambiente de sala e de cozinha conjugadas, e três dormitórios. A habitação representativa do quinto grupo é composta por um ambiente de sala e três dormitórios.

As análises de influência foram realizadas pelo método de planejamento de experimento fatorial para dois grupos de resultados, sendo o primeiro composto pelos resultados dos indicadores de graus hora e consumos relativos para aquecimento e resfriamento dos ambientes de

permanência prolongada das habitações representativas, e o segundo grupo composto pelos resultados dos equivalentes numéricos finais da envoltórias das habitações representativas.

Para os resultados do indicador de graus hora de resfriamento das tipologias representativas, o parâmetro mais influente foi a absorptância solar das paredes externas, seguido pela absorptância da cobertura. Para os resultados de consumo relativo para aquecimento das tipologias representativas, os parâmetros mais influentes foram a transmitância térmica das paredes externas e o contato da cobertura das habitações com o exterior. Para os resultados de consumo relativo para resfriamento das tipologias representativas, os parâmetros mais influentes foram a absorptância solar das paredes externas, a transmitância térmica das paredes externas e o contato do piso da habitação com o solo. Conclui-se que as diferenças entre as tipologias representativas não causam alterações relevantes na ordem de influência dos parâmetros físicos e geométricos analisados.

Após a análise dos resultados obtidos, pode-se concluir que para todas as tipologias representativas o parâmetro que exerce maior influência no equivalente numérico final da envoltória é a absorptância solar das paredes externas das habitações. Esta constatação contrariou as expectativas iniciais sobre o estudo, pois esperava-se encontrar mais parâmetros quantitativamente tão influentes quanto a absorptância solar das paredes externas nas diferentes tipologias representativas. A influência da absorptância solar das paredes externas variou entre 43% e 72% nas tipologias representativas. O segundo e o terceiro parâmetros mais influentes foram, respectivamente, o contato da cobertura com o exterior que influencia entre 5% e 14%, e a transmitância térmica das paredes externas, cuja influência nos equivalentes numéricos finais das tipologias representativas variou entre 9% e 11%. Apesar de exercer grande influência, não se pode afirmar que alterando apenas o valor da absorptância solar das paredes externas melhoraria o nível de eficiência energética das habitações avaliadas, pois, como visto no estudo, há outros parâmetros influentes nos equivalentes numéricos finais da envoltória das habitações.

Este estudo contribui para o enriquecimento da literatura sobre aplicação do método de simulação do RTQ-R, por se tratar da análise de uma grande amostra de habitações, bem como sobre a aplicação de métodos estatísticos na determinação da influência de diversos parâmetros no desempenho termoenergético de habitações.

5.1 LIMITAÇÕES

Os resultados obtidos através deste estudo são válidos apenas para a amostra avaliada e para o clima de Florianópolis.

As limitações encontradas neste estudo foram:

- Limitações associadas à imprecisão dos dados coletados, como áreas de aberturas para iluminação e ventilação, e à impossibilidade de medição de alguns dados, que torna necessária a adoção de valores, como para a transmitância e capacidade térmica de paredes e coberturas, absorptância solar de coberturas, entre outros.
- Nas modelagens das habitações no *OpenStudio* não foram considerados os sombreamentos nas habitações causados pelos beirais das coberturas, o que pode estar ligado, em parte, aos desempenhos termoenergéticos insatisfatórios das envoltórias avaliadas. Para averiguar e quantificar o erro causado pela falta dos beirais na avaliação do nível de eficiência energética das habitações, foram escolhidas três habitações (14, 34 e 42) para realização de novas simulações considerando o sombreamento. Os resultados obtidos nas novas simulações indicaram alteração apenas no equivalente numérico da envoltória para aquecimento do Dormitório 1 da habitação 42, de 5 para 4. Porém, o equivalente numérico final da envoltória e o nível de eficiência energética da habitação permaneceu o mesmo.

5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para trabalhos futuros, sugere-se:

- Analisar tipologias diferentes de habitações e para climas diferentes ao de Florianópolis.
- Realizar a mesma análise, o planejamento de experimentos fatoriais, aplicada ao método prescritivo para poder se comparar quantitativamente e qualitativamente a influência dos parâmetros físicos e geométricos para os dois métodos.
- Analisar a influência de outros parâmetros nos resultados das simulações, como as áreas de aberturas para ventilação e iluminação natural, que foram mantidas constantes neste estudo.

REFERÊNCIAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-2 – Desempenho térmico de edificações. Parte 2: Método de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações.** Rio de Janeiro, 2005a.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3 – Desempenho térmico de edificações. Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social.** Rio de Janeiro, 2005b

ALBUQUERQUE, M. S. C.; AMORIM, C. N. D. Iluminação natural: indicações de profundidade-limite de ambientes para iluminação natural no Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Residenciais – RTQ-R. **Ambiente Construído**, v. 12, n. 12, p. 37-57, 2012.

ALMEIDA, L. S. S.; SILVA, A. S.; SCHNEIDER, K.; GHISI, E. Avaliação da envoltória de habitações de interesse social de Florianópolis de acordo com o método prescritivo do RTQ-R. XII Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. **Anais...** Brasília, 2013.

ALVES, A. F. M. **Todo Brasileiro merece nível “A”: habitação multifamiliar para o programa minha casa minha vida energeticamente eficiente.** Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2012.

ALVES, A. F. M.; PEDRINI, A.; LIMA, G. L. F. Eficiência energética de edificações na zona bioclimática 08: diretrizes de projeto a partir do método prescritivo do RTQ-R. XIV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. **Anais...** Juiz de Fora, 2012.

ARAUJO, G. A. M. **Avaliação dos ganhos em eficiência energética em iluminação adotando a regulamentação de etiquetagem em edificações.** Dissertação (Mestrado em Engenharia). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2009.

ASHRAE. AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **Standard 140 – Standard**

Method of Test for the Evaluation of Building Energy Analysis Computer. Atlanta, 2004.

ASHRAE. AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **Handbook of Fundamentals.** Atlanta, 2009.

ASTE, N.; ANGELOTTI, A.; BUZZETTI, M. The influence of the external walls thermal inertia on the energy performance of well insulated buildings. **Energy and Buildings**, v. 41, n. 11, p. 1181-1187, 2009.

ASTM G 173-03. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard Tables for reference solar spectral irradiances – direct normal and hemispherical on 37° Tilted Surface.** ASTM International, 2003.

BARRIOSA, G.; HUELSZA, G.; ROJASA, J.; OCHOAB, J. M.; MARINCICB, I. Envelope wall/roof thermal performance parameters for non air-conditioned buildings. **Energy and Buildings**, v. 50, p. 120-127, 2012.

BOTTAMEDI, M. G. **Avaliação da eficiência energética de hotéis de quatro estrelas em Florianópolis: aplicação do programa de etiquetagem de edificações.** Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2011.

BRASIL. **Decreto nº 4.059**, de 19 de dezembro de 2001. Regulamenta a Lei no 10.295, de 17 de outubro de 2001, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, e dá outras providências. In: Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2001a.

BRASIL. **Lei nº 10.295**, de 17 de outubro de 2001. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, e dá outras providências. In: Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2001b.

BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA – MME. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Plano Nacional de Energia 2030.** Brasília, 2007.

BRASIL. MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR – MDIC. INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA – INMETRO. Portaria nº 372, de 17 de Setembro de 2010. **Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C)**. Rio de Janeiro, 2010.

BRASIL. MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR – MDIC. INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA – INMETRO. Portaria nº 18, de 16 de janeiro de 2012. **Regulamento Técnico da Qualidade para a Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R)**. Rio de Janeiro, 2012.

BRASIL. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. **Balanco Energético Nacional 2013 – Ano base 2012: Relatório Síntese**. Rio de Janeiro, 2013.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **Demanda habitacional no Brasil**. Brasília, 2011.

CAPPELLETTI, F.; GASPARELLA, A.; PERNIGOTTO, G.; ROMAGNONI, P. Dynamic analysis of energy performance of different roof systems during the cooling season. Conference of International Building Performance Simulation Association. **Proceedings...** Sydney, 2011.

CHLELA, F.; HUSAUNNDEE, A.; INARD, C.; RIEDERER, P. A new methodology for the design of low energy buildings. **Energy and Buildings**, v. 14, n. 9, p. 982-990, 2009.

CNM. CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE MUNICÍPIOS. **Habitação: Política Nacional de Habitação**. Brasília, 2012.

DONADELLO, A. L. F.; NICO-RODRIGUES, E. A.; ALVAREZ, C. E. Análise do desempenho térmico de dois sistemas de vedação vertical utilizados na Ilha da Trindade. XII Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. **Anais...** Brasília, 2013.

DORNELLES, K. A. **Absortância solar de superfícies opacas: métodos de determinação e base de dados para tintas látex acrílica e**

PVA. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2008.

ELETROBRAS. Site institucional. Disponível em <<http://www.elektrobras.com>> Acesso em outubro de 2012.

ERNST AND YOUNG TERCO. **Brasil sustentável: potencialidades do mercado habitacional.** EYGM Limited, 2011.

FOSSATI, M. **Relatório técnico final de elaboração do texto RTQ-R.** Relatório técnico: RT_Labee-2011/01, 2011.

FÜRBRINGER, J. M.; ROULET, C. C. Comparison and combination of factorial and Monte-Carlo design in sensitivity analysis. **Building and Environment**, v. 30, n. 4, p. 505-519, 1995.

GHISI, E.; CARDOSO, A.G.S.A. The influence of thermal properties of the envelope components on the thermal performance of naturally-ventilated houses. Conference on Passive and Low Energy Architecture. **Proceedings...** P. 673–678. Louvain-la-Neuve, 2011.

GOULART, S.; LAMBERTS, R.; FIRMINO, S. **Dados climáticos para projeto e avaliação energética de edificações para 14 cidades brasileiras.** Florianópolis: Núcleo de Pesquisa em Construção/UFSC, 1998.

GREEN JR., B. F. On the factor score controversy. **Psychometrika**, v. 41, n. 2, p. 263-266, 1976.

GREGORY, K.; MOGHTADERI, B.; SUGO, H.; PAGE, A. Effect of thermal mass on the thermal performance of various Australian residential constructions systems. **Energy and Buildings**, v. 40, n. 4, p. 459-465, 2008.

HOPFE, C. J.; HENSEN, J. L. M. Uncertainty analysis in building performance simulation for design support. **Energy and Buildings**, v. 43, n. 10, p. 2798-2805, 2011.

IPEA. INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Nota técnica: Estimativas do déficit habitacional brasileiro (PNAD 2007-2012).** Brasília, 2013.

KNAAP, A. N. v. d. **Building performance simulation to support building energy regulation. A case study for residential building in Brazil.** University of Technology, Eindhoven, 2011.

KOSSECKAA, E.; KOSNY, J. Influence of insulation configuration on heating and cooling loads in a continuously used building. **Energy and Buildings**, v. 34, n. 4, p. 321-331, 2002.

LIMA, G.; PEDRINI, A.; ALVES, A. Avaliação do desempenho térmico de uma habitação de interesse social localizada no clima quente e úmido da cidade de Parnamirim/RN com base no método de simulação do RTQ-R. XIV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. **Anais...** Juiz de Fora, 2012.

MARA, T. A.; TARANTOLA, S. Application of global sensitivity analysis of model output to building thermal simulations. **Building Simulation**, v. 1, n. 4, p. 290-302, 2008.

MARIN, P.; AMORIM, C. N. D. Estratégias para eficiência energética de residências unifamiliares na Serra Gaúcha: uma análise baseada no RTQ-R. XIV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. **Anais...** Juiz de Fora, 2012.

MATOS, J. M. **Qualificação de edifícios residenciais verticais em Natal/RN à luz do Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R).** Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade Federal do Rio Grande no Norte. Natal, 2012.

MAVROGIANNI, A.; WILKINSON, P.; DAVIES, M.; BIDDULPH, P.; OIKONOMOU, E. Building characteristics as determinants of propensity to high indoor summer temperatures in London dwellings. **Building and Environment**, v. 55, p. 117-130, 2012.

MECHRI, H. E.; CAPOZZOLI, A.; CORRADO, V. Use of the ANOVA approach for sensitive building energy design. **Applied Energy**, v. 87, n. 10, p. 3073-3083, 2010.

MENDES, N.; WESTPHAL, F. S.; LAMBERTS, R.; NETO, J. A. B. C. Uso de instrumentos computacionais para análise do desempenho térmico

e energético de edificações no Brasil. **Ambiente Construído**, v. 5, n. 4, p. 47-68, 2005.

MINITAB Inc. Minitab Statistical Software, Release 15 for Windows, State College, Pennsylvania. Minitab® is a registered trademark of Minitab Inc. 2007.

MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C. **Estatística aplicada e probabilidade para Engenheiros**. Editora LTC. 4ª Edição, 2012.

MOREIRA, M. M.; SOARES, C. A. P.; HOZUMI, C. R. J.; CÔRTEZ, R. G. Práticas de gestão ambiental para a sustentabilidade das empresas da construção civil. V Congresso Nacional de Excelência em Gestão. **Anais...** Niterói, 2009.

MORISHITA, C.; SORGATO, M. J.; VERSAGE, R.; TRIANA, M. A.; MARINOSKI, D. L.; LAMBERTS, R. **Catálogo de propriedades térmicas de paredes e coberturas. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações**. Florianópolis, 2011. Disponível em < <http://labeee.ufsc.br/> > acesso em 04/03/2013.

NOGUEIRA, F. H. S.; NASCIMENTO, F. M. B.; BATISTA, J. O. OLIVEIRA, P. L.; ALMEIDA, R. E. R. Análise da envoltória pelo método prescritivo do RTQ-R: etiquetagem de residência unifamiliar em Maceió-AL. XIV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. **Anais...** Juiz de Fora, 2012.

OECD. ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. **Environmentally Sustainable Buildings – Challenges and Policies**. Paris, 2003.

OLIVEIRA, L. S. **Avaliação dos limites das propriedades térmicas dos fechamentos opacos da NBR 15220-3, para habitações de interesse social, da zona bioclimática 2**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 2012.

OLIVEIRA, R. D.; SOUZA, R. V. G.; SILVA, R. M. Desempenho térmico: qual valor devemos atender para a legislação brasileira? XII Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. **Anais...** Brasília, 2013.

PACHECO, G. H. S.; DIAS, A. R. D.; FERNANDES, R. O.; PEDRINI, A.; BRITO, H. M. B. C. Aplicação das recomendações bioclimáticas em projeto no clima Quente e úmido: estudo de caso de hotel em Tibau do Sul/RN. XII Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. **Anais...** Brasília, 2013.

PACHECO, R.; ORDÓÑEZ, J.; MARTÍNEZ, G. Energy efficient design of building: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 16, n. 6, p. 3559-3573, 2012.

PEREIRA, C. D.; GHISI, E. The influence of the envelope on the thermal performance of ventilated and occupied houses. **Energy and Buildings**, v. 43, n. 12, p. 3391-3399, 2012.

PÉREZ-LOMBARD, L.; ORTIZ, J.; POUT, C. A review on building energy consumption information. **Energy and Buildings**, v.40, n. 3, p. 394-398, 2008.

PLESSIS, G.; FILFLI, S.; MURESAN, C.; BOUIA, H. Using design of experiments methods to develop low energy building model under Modelica. Conference of International Building Performance Simulation Association. **Proceedings...** Sydney, 2011.

POUEY, J. A.; BRANDALISE, M. P.; SILVA, A. C. S. B. Determinação da eficiência energética da envoltória de projeto residencial unifamiliar comparando os resultados a partir da aplicação dos métodos prescritivo e de simulação do RTQ-R. XIV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. **Anais...** Juiz de Fora, 2012.

SALTELLI, A.; TARANTOLA, S.; CHAN, K. P.-S. Global sensitivity analysis of model output a quantitative model-independent method for global sensitivity analysis of model output. **Technometrics**, v. 41, n. 1, p. 39-56, 1999.

SANTOS, E.I.; MARINOSKI, D. L.; LAMBERTS, R. Influência do ambiente de medição sobre a verificação da absortância de superfícies opacas utilizando um espectrômetro portátil. X Encontro Nacional e VI Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído. **Anais...** Natal, 2009.

SCALCO, V. A.; FOSSATI, M.; VERSAGE, R. S.; SORGATO, M. J.; LAMBERTS, R.; MORISHITA, C. Innovations in the Brazilian regulations for energy efficiency of residential buildings. **Architectural Science Review**, v. 55, n.1, p. 71-81, 2012.

SILVA, A. S.; ALMEIDA, L. S. S.; GHISI, E. Comparação da eficiência energética da envoltória de habitações de interesse social pelos métodos prescritivo e simulação do RTQ-R. XII Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. **Anais...** Brasília, 2013.

SILVA, A. S.; GHISI, E. Análise de sensibilidade global dos parâmetros termofísicos de uma edificação residencial de acordo com o método de simulação do RTQ-R. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 13, n. 4, p. 135-148, 2013.

SILVA, A. S.; GHISI, E. Análise comparativa dos resultados do desempenho térmico da envoltória de uma edificação residencial pelos métodos de simulação do RTQ-R e da NBR 15575-1. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 14, n. 1, p. 213-230, 2014.

SORGATO, M. J. **Relatório técnico da base de simulações para o RTQ-R**. Relatório técnico: RT_Labee-2011/02, 2011.

SORGATO, M. J.; LAMBERTS, R. Análise de sensibilidade dos parâmetros utilizados para a simulação computacional de ventilação natural, no desempenho térmico de uma edificação residencial unifamiliar. XIV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. **Anais...** Juiz de Fora, 2012.

SWAMI, M. V.; CHANDRA, S. Correlations for pressure distribution on buildings and calculation of natural-ventilation airflow. **ASHRAE Transactions**, v. 94, n. 1, p. 243–266, 1988.

TIAN, W. A review of sensitivity analysis methods in building energy analysis. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 20, p. 411-419, 2013.

TORRES, D.; ADELINO, T. A influência das dimensões de aberturas na distribuição da luz natural em um dormitório com base nos parâmetros do RTQ-R: estudo realizado na cidade de Maceió/AL. XII Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. **Anais...** Brasília, 2013.

TRIANA, M. A.; LAMBERTS, R. Proposta de incorporação de estratégias para melhoria de desempenho térmico e uso racional de energia em projeto de habitação de interesse social em Florianópolis. XII Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. **Anais...** Brasília, 2013.

VERSAGE, R. **Equações prescritivas para o regulamento de etiquetagem de eficiência energética de edificações residenciais.** Relatório técnico: RT_Labee-2011/03, 2011.

APÊNDICE A – RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES

Neste Apêndice estão os valores dos indicadores de graus hora e dos consumos relativos para aquecimento e resfriamento de cada ambiente de permanência prolongada resultantes das simulações das 50 habitações. Junto aos resultados estão os nomes dos ambientes de permanência prolongada e suas respectivas áreas internas.

Tabela 32 – Variáveis de saída das simulações computacionais para cada ambiente de permanência prolongada das habitações.

Habitação	Ambiente de permanência prolongada	Área [m²]	GHR [°Ch]	CR [kWh/m².ano]	CA [kWh/m².ano]
1	Sala/Cozinha	16,50	3201	-	35,643
	Dormitório 1	7,50	2845	14,282	24,722
	Dormitório 2	6,25	2863	14,361	29,044
2	Sala/Cozinha	12,56	2853	-	44,263
	Dormitório 1	5,50	2615	13,853	32,625
	Dormitório 2	5,36	2393	15,731	29,661
3	Sala	13,27	4129	-	33,516
	Dormitório 1	9,29	3747	19,536	15,863
	Dormitório 2	9,29	3631	22,622	13,092
	Dormitório 3	8,54	3542	21,433	14,756
4	Sala	12,24	3673	-	49,432
	Dormitório 1	10,63	3630	10,183	24,051
	Dormitório 2	8,83	3322	13,223	21,182
	Dormitório 3	8,31	4002	13,546	25,111
5	Sala	7,50	6634	-	55,591
	Dormitório 1	7,50	6494	10,730	24,916
	Dormitório 2	7,50	6431	11,146	24,981
6	Sala/Cozinha	25,88	6702	-	18,697
	Dormitório 1	10,64	6270	19,859	16,292
	Dormitório 2	7,90	5318	24,192	14,410
7	Sala	13,74	6194	-	44,446
	Dormitório 1	9,97	6442	21,820	24,495
	Dormitório 2	7,12	6296	30,302	25,312
	Dormitório 3	7,12	5348	25,648	29,989

Tabela 32 – Variáveis de saída das simulações computacionais para cada ambiente de permanência prolongada das habitações (continuação).

Habitação	Ambiente de permanência prolongada	Área [m ²]	GHR [°Ch]	CR [kWh/m ² .ano]	CA [kWh/m ² .ano]
8	Sala 1	12,16	1849	6,492	42,440
	Sala 2	11,34	2755	9,638	43,985
	Dormitório 1	11,25	359	7,160	20,710
	Dormitório 2	7,53	452	11,109	17,784
	Dormitório 3	11,25	2221	12,669	22,027
	Dormitório 4	7,53	2665	23,780	24,413
9	Sala/Cozinha	23,51	5642	-	37,924
	Dormitório 1	8,17	8366	6,227	28,762
	Dormitório 2	7,05	6163	6,185	37,136
	Dormitório 3	6,30	7286	8,712	32,164
	Trabalho	9,65	7140	2,484	49,702
10	Sala/Cozinha	24,03	12770	-	33,293
	Dormitório 1	11,49	12486	5,508	27,173
	Dormitório 2	6,34	9544	9,982	30,529
11	Sala	17,60	2689	-	19,507
	Dormitório 1	14,52	2803	7,609	24,156
12	Sala	7,49	1419	-	46,867
	Dormitório 1	15,87	1258	7,309	17,210
	Dormitório 2	8,59	1400	10,434	23,772
13	Sala	13,13	8417	-	44,659
	Dormitório 1	9,10	3832	12,216	35,028
	Dormitório 2	7,25	7897	29,400	23,253
	Dormitório 3	5,88	6939	29,292	28,301
14	Sala	9,52	1794	-	37,215
	Dormitório 1	10,25	1912	12,363	18,962
	Dormitório 2	8,83	1972	15,521	16,511
15	Sala	14,16	3743	-	32,859
	Dormitório 1	13,60	3877	16,944	13,453
	Dormitório 2	11,62	3295	17,456	11,453
	Dormitório 3	10,33	3864	17,710	15,650
16	Sala	10,03	4549	-	51,296
	Dormitório 1	11,60	5006	11,543	19,117
	Dormitório 2	7,67	4670	14,828	23,866
	Dormitório 3	5,80	3986	20,586	22,364
17	Dormitório 1	12,46	1159	8,244	17,901
	Dormitório 2	9,24	1092	10,303	21,103
	Dormitório 3	8,74	1223	10,622	20,966

Tabela 32 – Variáveis de saída das simulações computacionais para cada ambiente de permanência prolongada das habitações (continuação).

Habitação	Ambiente de permanência prolongada	Área [m²]	GHR [°Ch]	CR [kWh/m².ano]	CA [kWh/m².ano]
18	Sala/Cozinha	32,24	4969	-	16,752
	Dormitório 1	11,21	5313	23,224	12,230
	Dormitório 2	7,51	5317	29,940	13,905
	Dormitório 3	7,51	6022	28,350	16,120
19	Dormitório 1	8,31	1596	17,634	27,644
20	Sala/Cozinha	18,02	6208	-	40,505
	Dormitório 1	19,18	6074	9,677	16,636
	Dormitório 2	11,65	5597	13,272	18,114
	Dormitório 3	8,85	5581	13,455	25,476
	Dormitório 4	7,98	5098	17,915	19,764
	Trabalho	10,15	5199	7,522	16,148
21	Sala	9,30	1549	-	54,321
	Dormitório 1	8,95	1081	10,517	20,726
	Dormitório 2	6,31	1193	15,194	20,193
	Dormitório 3	6,08	1287	14,047	24,168
22	Sala 1	14,11	2832	-	24,310
	Sala 2	9,95	4121	-	35,449
	Dormitório 1	12,60	3698	18,197	14,563
	Dormitório 2	8,67	2977	21,899	15,716
	Dormitório 3	7,01	2768	21,655	15,943
	Dormitório 4	6,12	3949	22,484	21,018
23	Sala/Cozinha	17,41	4830	-	26,095
	Dormitório 1	5,92	3418	10,543	34,678
24	Sala 1	14,21	1476	-	18,641
	Sala 2	12,45	1117	-	20,625
	Dormitório 1	7,80	1494	11,614	18,977
	Dormitório 2	7,80	1170	11,908	16,892
25	Sala	10,94	4546	-	50,505
	Dormitório 1	8,69	4779	12,812	24,644
	Dormitório 2	5,29	4436	19,650	26,574
	Dormitório 3	5,29	4376	17,817	29,642
26	Sala	16,91	4495	-	39,043
	Dormitório 1	9,69	3377	10,390	24,961
	Dormitório 2	9,12	4000	10,784	24,487
	Dormitório 3	7,98	3421	13,011	22,903

Tabela 32 – Variáveis de saída das simulações computacionais para cada ambiente de permanência prolongada das habitações (continuação).

Habitação	Ambiente de permanência prolongada	Área [m²]	GHR [°Ch]	CR [kWh/m².ano]	CA [kWh/m².ano]
27	Sala	8,41	5082	-	47,331
	Dormitório 1	9,89	4500	12,325	21,840
	Dormitório 2	8,97	4837	12,644	23,262
28	Sala 1	14,06	3971	-	24,945
	Sala 2	8,29	4264	8,878	34,601
	Dormitório 1	8,32	4036	13,781	25,733
	Dormitório 2	7,73	3726	15,308	23,509
29	Sala/Cozinha	31,74	3617	-	22,152
	Dormitório 1	10,46	3306	8,983	24,266
	Dormitório 2	7,14	2166	14,497	21,336
	Dormitório 3	6,12	2252	17,805	19,794
	Trabalho	2,94	3699	17,210	84,472
30	Sala 1	6,72	9013	-	50,023
	Sala 2	7,20	8403	-	39,694
	Dormitório 1	7,50	9649	12,122	26,320
	Dormitório 2	7,00	10187	7,942	40,613
31	Sala	11,17	2126	-	22,615
	Dormitório 1	12,40	2106	10,161	16,219
	Dormitório 2	6,40	2493	16,055	23,811
32	Sala	14,54	10939	-	50,266
	Dormitório 1	16,98	10591	8,874	27,644
	Dormitório 2	9,80	9750	14,406	30,270
	Dormitório 3	8,40	11225	16,759	31,003
33	Sala	9,15	2262	-	26,408
	Dormitório 1	9,00	2826	15,735	20,757
34	Sala/Cozinha	11,18	12792	-	72,976
	Dormitório 1	15,63	13601	4,283	26,951
	Dormitório 2	10,49	13231	5,945	26,992
	Dormitório 3	9,25	12194	8,299	30,462
	Dormitório 4	5,32	11391	9,841	37,405
35	Sala	10,35	4686	-	52,479
	Dormitório 1	15,12	4018	9,096	20,098
	Dormitório 2	12,96	3800	9,915	21,954
	Dormitório 3	7,80	3290	15,157	23,302

Tabela 32 – Variáveis de saída das simulações computacionais para cada ambiente de permanência prolongada das habitações (continuação).

Habitação	Ambiente de permanência prolongada	Área [m²]	GHR [°Ch]	CR [kWh/m².ano]	CA [kWh/m².ano]
36	Sala/Cozinha	20,00	11113	-	26,323
	Dormitório 1	13,31	9755	11,769	17,852
	Dormitório 2	9,54	8935	14,682	17,609
37	Sala/Cozinha	24,05	7297	-	40,997
	Dormitório 1	9,86	7176	6,642	29,549
	Dormitório 2	7,35	6244	8,031	34,615
	Dormitório 3	6,96	6911	9,965	28,091
38	Sala/Cozinha	21,21	7707	-	30,017
	Dormitório 1	14,34	6926	9,924	21,235
	Dormitório 2	10,14	7611	15,961	18,466
39	Sala/Cozinha	17,25	6888	-	25,976
	Dormitório 1	10,53	6465	16,358	13,061
	Dormitório 2	6,79	6916	19,683	17,170
	Dormitório 3	5,41	7192	24,226	15,347
40	Sala/Cozinha	14,81	3814	-	48,172
	Dormitório 1	7,74	2804	8,919	26,354
	Dormitório 2	7,74	2476	9,266	23,467
	Dormitório 3	4,96	2905	21,443	28,576
41	Sala/Cozinha	19,28	5742	-	24,123
	Dormitório 1	9,00	5478	19,699	23,894
42	Sala/Cozinha	19,28	4193	-	26,794
	Dormitório 1	9,00	3883	12,470	25,981
43	Sala/Cozinha	19,28	3775	-	27,135
	Dormitório 1	9,00	3810	15,462	26,468
44	Sala/Cozinha	10,84	2102	-	27,892
	Dormitório 1	7,19	2165	18,434	14,930
	Dormitório 2	2,88	2643	43,014	28,810
45	Sala/Cozinha	18,65	1933	-	23,982
	Dormitório 1	9,48	4805	15,623	24,705
	Dormitório 2	7,89	5038	21,529	24,147
46	Sala/Cozinha	18,67	1229	-	31,850
	Dormitório 1	8,24	1820	16,810	20,286
	Dormitório 2	7,64	1873	16,825	20,525
	Dormitório 3	21,61	4186	8,482	21,039

Tabela 32 – Variáveis de saída das simulações computacionais para cada ambiente de permanência prolongada das habitações (continuação).

Habitação	Ambiente de permanência prolongada	Área [m²]	GHR [°Ch]	CR [kWh/m².ano]	CA [kWh/m².ano]
47	Sala/Cozinha	11,53	1648	-	31,939
	Dormitório 1	9,24	1324	12,519	18,055
	Dormitório 2	7,25	1651	16,518	20,383
48	Sala/Cozinha	18,82	7314	-	28,885
	Dormitório 1	8,70	7913	13,560	21,036
	Dormitório 2	7,35	6307	15,942	23,371
49	Sala/Cozinha	20,70	6195	-	22,876
	Dormitório 1	11,40	6399	11,118	20,167
	Dormitório 2	9,30	6563	12,864	22,802
	Dormitório 3	8,73	10024	8,875	46,507
	Trabalho	28,50	6754	5,287	53,629
50	Sala/Cozinha	18,65	3706	-	20,185
	Dormitório 1	9,48	7567	21,621	19,694
	Dormitório 2	7,89	6424	24,853	21,979

APÊNDICE B – AVALIAÇÃO DOS PRÉ-REQUISITOS DOS AMBIENTES DE VENTILAÇÃO NATURAL E ILUMINAÇÃO NATURAL

Este Apêndice contém os resultados da avaliação do atendimento aos pré-requisitos de iluminação natural e ventilação natural para cada um dos ambientes de permanência prolongada das habitações.

Tabela 33 – Avaliação dos pré-requisitos dos ambientes de ventilação natural e iluminação natural.

Habi- tação	Ambiente de permanência prolongada	Av [m ²]	Ai [m ²]	Av/A [%]	Ai/A [%]	Atende ao pré- requisito de ventilação natural?	Atende ao pré- requisito de iluminação natural?
1	Sala/Cozinha	0,83	1,20	5,0	7,3	Não	Não
	Dormitório 1	0,53	0,79	7,1	10,5	Não	Não
	Dormitório 2	0,53	0,79	8,5	12,6	Sim	Sim
2	Sala/Cozinha	0,92	1,20	7,3	9,6	Não	Não
	Dormitório 1	0,59	0,79	10,8	14,4	Sim	Sim
	Dormitório 2	0,59	0,79	11,1	14,7	Sim	Sim
3	Sala	0,49	0,89	3,7	6,7	Não	Não
	Dormitório 1	0,78	1,36	8,4	14,6	Sim	Sim
	Dormitório 2	0,45	0,42	4,8	4,5	Não	Não
	Dormitório 3	0,34	0,34	4,0	4,0	Não	Não
4	Sala	0,51	0,96	4,2	7,8	Não	Não
	Dormitório 1	0,44	0,77	4,1	7,3	Não	Não
	Dormitório 2	0,44	0,77	4,9	8,7	Não	Não
	Dormitório 3	0,51	0,96	6,1	11,5	Não	Não
5	Sala	0,68	1,04	9,1	13,9	Sim	Sim
	Dormitório 1	0,68	1,04	9,1	13,9	Sim	Sim
	Dormitório 2	0,68	1,04	9,1	13,9	Sim	Sim
6	Sala/Cozinha	0,86	1,62	3,3	6,3	Não	Não
	Dormitório 1	0,62	1,00	5,8	9,4	Não	Não
	Dormitório 2	0,62	1,00	7,8	12,6	Não	Sim
7	Sala	0,87	1,18	6,3	8,6	Não	Não
	Dormitório 1	0,51	0,97	5,1	9,7	Não	Não
	Dormitório 2	0,51	0,97	7,1	13,6	Não	Sim
	Dormitório 3	0,51	0,97	7,1	13,6	Não	Sim

Tabela 33 – Avaliação dos pré-requisitos dos ambientes de ventilação natural e iluminação natural (continuação).

Habi- tação	Ambiente de permanência prolongada	Av [m²]	Ai [m²]	Av/A [%]	Ai/A [%]	Atende ao pré- requisito de ventilação natural?	Atende ao pré- requisito de iluminação natural?
8	Sala 1	0,99	1,94	8,2	16,0	Sim	Sim
	Sala 2	0,63	1,21	5,5	10,7	Não	Não
	Dormitório 1	0,95	0,47	8,4	4,2	Sim	Não
	Dormitório 2	0,00	0,00	0,0	0,0	Não	Não
	Dormitório 3	0,49	0,49	4,4	4,4	Não	Não
	Dormitório 4	0,49	0,49	6,5	6,5	Não	Não
9	Sala/Cozinha	1,19	1,85	5,0	7,9	Não	Não
	Dormitório 1	0,47	0,77	5,8	9,4	Não	Não
	Dormitório 2	0,47	0,77	6,7	10,9	Não	Não
	Dormitório 3	0,47	0,77	7,5	12,2	Não	Não
	Trabalho	0,47	0,77	4,9	8,0	Não	Não
10	Sala/Cozinha	0,72	0,97	3,0	4,0	Não	Não
	Dormitório 1	0,72	0,97	6,2	8,5	Não	Não
	Dormitório 2	0,55	0,68	8,6	10,7	Sim	Não
11	Sala	1,17	2,08	6,6	11,8	Não	Não
	Dormitório 1	1,17	2,08	8,1	14,3	Sim	Sim
12	Sala	0,43	0,57	5,8	7,6	Não	Não
	Dormitório 1	0,43	0,57	2,9	3,8	Não	Não
	Dormitório 2	0,43	0,57	5,0	6,6	Não	Não
13	Sala	0,76	1,08	5,8	8,2	Não	Não
	Dormitório 1	0,40	0,72	4,4	8,0	Não	Não
	Dormitório 2	0,30	0,37	4,1	5,1	Não	Não
	Dormitório 3	0,76	1,08	12,9	18,3	Sim	Sim
14	Sala	0,77	0,86	8,1	9,0	Sim	Não
	Dormitório 1	0,77	0,86	7,5	8,3	Não	Não
	Dormitório 2	0,77	0,86	8,7	9,7	Sim	Não
15	Sala	0,49	0,92	3,4	6,5	Não	Não
	Dormitório 1	0,49	0,93	3,6	6,8	Não	Não
	Dormitório 2	0,53	0,93	4,6	8,0	Não	Não
	Dormitório 3	0,53	0,92	5,1	8,9	Não	Não
16	Sala	0,00	0,00	0,0	0,0	Não	Não
	Dormitório 1	0,55	0,35	4,7	3,0	Não	Não
	Dormitório 2	0,55	0,35	7,2	4,6	Não	Não
	Dormitório 3	0,38	0,26	6,6	4,6	Não	Não

Tabela 33 – Avaliação dos pré-requisitos dos ambientes de ventilação natural e iluminação natural (continuação).

Habi- tação	Ambiente de permanência prolongada	Av [m²]	Ai [m²]	Av/A [%]	Ai/A [%]	Atende ao pré- requisito de ventilação natural?	Atende ao pré- requisito de iluminação natural?
17	Dormitório 1	0,68	1,18	5,5	9,5	Não	Não
	Dormitório 2	0,68	1,18	7,4	12,7	Não	Sim
	Dormitório 3	0,62	1,03	7,1	11,8	Não	Não
18	Sala/Cozinha	1,14	2,03	3,5	6,3	Não	Não
	Dormitório 1	0,62	1,10	5,5	9,9	Não	Não
	Dormitório 2	0,63	1,11	8,3	14,8	Sim	Sim
	Dormitório 3	0,63	1,11	8,3	14,8	Sim	Sim
19	Dormitório 1	0,84	0,94	10,1	11,3	Sim	Não
20	Sala/Cozinha	1,14	0,97	6,4	5,4	Não	Não
	Dormitório 1	0,64	0,57	4,3	3,8	Não	Não
	Dormitório 2	0,49	0,47	4,2	4,0	Não	Não
	Dormitório 3	0,60	0,57	6,8	6,4	Não	Não
	Dormitório 4	0,60	0,57	7,5	7,1	Não	Não
	Trabalho	0,60	0,57	5,9	5,6	Não	Não
21	Sala	0,82	0,15	8,8	1,7	Sim	Não
	Dormitório 1	0,50	0,81	5,6	9,1	Não	Não
	Dormitório 2	0,50	0,81	7,9	12,8	Não	Sim
	Dormitório 3	0,50	0,81	8,2	13,3	Sim	Sim
22	Sala 1	1,11	1,32	7,9	9,4	Não	Não
	Sala 2	0,49	0,87	4,9	8,8	Não	Não
	Dormitório 1	1,11	1,32	8,8	10,5	Sim	Não
	Dormitório 2	1,11	1,32	12,8	15,2	Sim	Sim
	Dormitório 3	0,49	0,87	7,0	12,5	Não	Não
	Dormitório 4	0,49	0,87	8,0	14,3	Sim	Sim
23	Sala/Cozinha	0,45	0,69	2,6	4,0	Não	Não
	Dormitório 1	0,45	0,69	7,5	11,6	Não	Não
24	Sala 1	3,07	3,07	21,6	21,6	Sim	Sim
	Sala 2	1,39	1,39	11,1	11,1	Sim	Não
	Dormitório 1	1,39	1,39	17,8	17,8	Sim	Sim
	Dormitório 2	1,39	1,39	17,8	17,8	Sim	Sim
25	Sala	0,50	0,78	4,6	7,1	Não	Não
	Dormitório 1	0,59	1,09	6,8	12,5	Não	Não
	Dormitório 2	0,54	0,96	10,2	18,2	Sim	Sim
	Dormitório 3	0,54	0,96	10,2	18,2	Sim	Sim

Tabela 33 – Avaliação dos pré-requisitos dos ambientes de ventilação natural e iluminação natural (continuação).

Habi- tação	Ambiente de permanência prolongada	Av [m²]	Ai [m²]	Av/A [%]	Ai/A [%]	Atende ao pré- requisito de ventilação natural?	Atende ao pré- requisito de iluminação natural?
26	Sala	0,78	1,30	4,6	7,7	Não	Não
	Dormitório 1	0,48	0,76	4,9	7,9	Não	Não
	Dormitório 2	0,78	1,30	8,6	14,2	Sim	Sim
	Dormitório 3	0,48	0,76	6,0	9,6	Não	Não
27	Sala	0,43	0,79	5,1	9,4	Não	Não
	Dormitório 1	0,86	1,59	8,7	16,1	Sim	Sim
	Dormitório 2	0,43	0,79	4,8	8,8	Não	Não
28	Sala 1	0,44	0,31	3,2	2,2	Não	Não
	Sala 2	0,44	0,31	5,4	3,7	Não	Não
	Dormitório 1	0,44	0,31	5,3	3,7	Não	Não
	Dormitório 2	0,44	0,31	5,7	4,0	Não	Não
29	Sala/Cozinha	1,55	3,19	4,9	10,0	Não	Não
	Dormitório 1	0,48	0,88	4,6	8,4	Não	Não
	Dormitório 2	0,48	0,88	6,8	12,3	Não	Não
	Dormitório 3	0,48	0,88	7,9	14,3	Não	Sim
	Trabalho	0,48	0,88	16,4	29,8	Sim	Sim
30	Sala 1	0,72	0,44	10,7	6,5	Sim	Não
	Sala 2	0,72	0,44	10,0	6,1	Sim	Não
	Dormitório 1	0,72	0,44	9,6	5,9	Sim	Não
	Dormitório 2	0,72	0,44	10,3	6,3	Sim	Não
31	Sala	0,94	1,58	8,4	14,2	Sim	Sim
	Dormitório 1	0,94	1,58	7,6	12,8	Não	Sim
	Dormitório 2	0,51	1,58	7,9	24,7	Não	Sim
32	Sala	0,54	0,96	3,7	6,6	Não	Não
	Dormitório 1	0,54	0,96	3,6	6,4	Não	Não
	Dormitório 2			0,0	0,0	Não	Não
	Dormitório 3	0,16	0,15	1,9	1,8	Não	Não
33	Sala	0,35	0,49	3,8	5,3	Não	Não
	Dormitório 1	0,44	0,58	4,9	6,5	Não	Não
34	Sala/Cozinha	0,67	1,25	6,0	11,2	Não	Não
	Dormitório 1	0,67	1,25	4,5	8,4	Não	Não
	Dormitório 2	0,37	0,57	3,5	5,4	Não	Não
	Dormitório 3	0,37	0,57	4,0	6,2	Não	Não
	Dormitório 4	0,53	0,77	10,0	14,5	Sim	Sim

Tabela 33 – Avaliação dos pré-requisitos dos ambientes de ventilação natural e iluminação natural (continuação).

Habi- tação	Ambiente de permanência prolongada	Av [m ²]	Ai [m ²]	Av/A [%]	Ai/A [%]	Atende ao pré- requisito de ventilação natural?	Atende ao pré- requisito de iluminação natural?
35	Sala	0,59	0,77	5,7	7,4	Não	Não
	Dormitório 1	0,59	0,77	3,9	5,1	Não	Não
	Dormitório 2	0,43	0,51	3,3	4,0	Não	Não
	Dormitório 3	0,43	0,51	5,5	6,6	Não	Não
36	Sala/Cozinha	0,41	0,10	2,1	0,5	Não	Não
	Dormitório 1	0,41	0,10	3,1	0,8	Não	Não
	Dormitório 2	0,41	0,10	4,3	1,1	Não	Não
37	Sala/Cozinha	0,54	0,96	2,2	4,0	Não	Não
	Dormitório 1	0,54	0,67	5,5	6,8	Não	Não
	Dormitório 2	0,54	0,67	7,4	9,1	Não	Não
	Dormitório 3	0,54	0,67	7,8	9,6	Não	Não
38	Sala/Cozinha	0,70	1,00	3,3	4,7	Não	Não
	Dormitório 1	0,75	1,04	5,2	7,3	Não	Não
	Dormitório 2	0,37	0,52	3,7	5,1	Não	Não
39	Sala/Cozinha	1,32	1,16	7,6	6,7	Não	Não
	Dormitório 1	0,42	0,62	4,0	5,9	Não	Não
	Dormitório 2	0,59	1,03	8,7	15,1	Sim	Sim
	Dormitório 3	0,41	0,45	7,5	8,3	Não	Não
40	Sala/Cozinha	0,98	1,08	6,6	7,3	Não	Não
	Dormitório 1	0,56	0,67	7,2	8,6	Não	Não
	Dormitório 2	0,56	0,67	7,2	8,6	Não	Não
	Dormitório 3	0,56	0,67	11,2	13,5	Sim	Sim
41	Sala/Cozinha	0,71	3,41	3,7	17,7	Não	Sim
	Dormitório 1	0,64	0,90	7,1	10,0	Não	Não
42	Sala/Cozinha	0,71	3,34	3,7	17,3	Não	Sim
	Dormitório 1	0,64	0,91	7,1	10,1	Não	Não
43	Sala/Cozinha	0,71	3,34	3,7	17,3	Não	Sim
	Dormitório 1	0,64	0,90	7,1	10,0	Não	Não
44	Sala/Cozinha	0,71	1,08	6,6	9,9	Não	Não
	Dormitório 1	0,59	1,24	8,2	17,3	Sim	Sim
	Dormitório 2	0,57	0,77	19,6	26,7	Sim	Sim
45	Sala/Cozinha	0,65	1,09	3,5	5,8	Não	Não
	Dormitório 1	0,33	1,18	3,4	12,5	Não	Não
	Dormitório 2	0,33	1,18	4,1	15,0	Não	Sim

Tabela 33 – Avaliação dos pré-requisitos dos ambientes de ventilação natural e iluminação natural (continuação).

Habi- tação	Ambiente de permanência prolongada	Av [m²]	Ai [m²]	Av/A [%]	Ai/A [%]	Atende ao pré- requisito de ventilação natural?	Atende ao pré- requisito de iluminação natural?
46	Sala/Cozinha	0,94	0,87	5,0	4,7	Não	Não
	Dormitório 1	0,46	0,61	5,5	7,4	Não	Não
	Dormitório 2	0,46	0,61	6,0	8,0	Não	Não
	Dormitório 3	0,67	0,67	3,1	3,1	Não	Não
47	Sala/Cozinha	0,47	1,13	4,1	9,8	Não	Não
	Dormitório 1	0,47	1,13	5,1	12,3	Não	Não
	Dormitório 2	0,47	1,13	6,5	15,6	Não	Sim
48	Sala/Cozinha	0,74	1,49	3,9	7,9	Não	Não
	Dormitório 1	0,37	0,75	4,2	8,6	Não	Não
	Dormitório 2	0,37	0,75	5,0	10,2	Não	Não
49	Sala/Cozinha	0,00	0,00	0,0	0,0	Não	Não
	Dormitório 1	1,44	1,44	12,7	12,7	Sim	Sim
	Dormitório 2	0,55	0,92	5,9	9,9	Não	Não
	Dormitório 3	0,54	1,12	6,2	12,9	Não	Sim
	Trabalho	1,50	2,27	5,2	8,0	Não	Não
50	Sala/Cozinha	0,65	1,09	3,5	5,8	Não	Não
	Dormitório 1	0,33	1,18	3,4	12,5	Não	Não
	Dormitório 2	0,33	1,18	4,1	15,0	Não	Sim

APÊNDICE C - EQUIVALENTES NUMÉRICOS DOS AMBIENTES DE PERMANÊNCIA PROLONGADA

Neste Apêndice se encontram os resultados dos equivalentes numéricos relacionados aos indicadores de graus hora e aos consumos de aquecimento e resfriamento para todos os ambientes de permanência prolongada das habitações avaliadas. O cálculo foi realizado antes e depois da avaliação dos pré-requisitos de ventilação e iluminação natural, visando a comparação entre os resultados.

Tabela 34 – Equivalentes numéricos dos ambientes de permanência prolongada antes e depois da avaliação dos pré-requisitos de iluminação e ventilação natural.

Habitação	Ambiente de permanência prolongada	Equivalentes Numéricos (antes dos pré-requisitos)			Equivalentes Numéricos (depois dos pré-requisitos)		
		GHR	CR	CA	GHR	CR	CA
1	Sala/Cozinha	2	-	1	2	-	1
	Dormitório 1	2	3	2	2	3	2
	Dormitório 2	2	3	1	2	3	1
2	Sala/Cozinha	2	-	1	2	-	1
	Dormitório 1	2	3	1	2	3	1
	Dormitório 2	3	3	1	3	3	1
3	Sala	1	-	1	1	-	1
	Dormitório 1	1	2	3	1	2	3
	Dormitório 2	1	2	3	1	2	3
	Dormitório 3	1	2	3	1	2	3
4	Sala	1	-	1	1	-	1
	Dormitório 1	1	4	2	1	3	2
	Dormitório 2	1	3	2	1	3	2
	Dormitório 3	1	3	2	1	3	2
5	Sala	1	-	1	1	-	1
	Dormitório 1	1	4	2	1	4	2
	Dormitório 2	1	4	2	1	4	2
6	Sala/Cozinha	1	-	3	1	-	3
	Dormitório 1	1	2	3	1	2	3
	Dormitório 2	1	1	3	1	1	3
7	Sala	1	-	1	1	-	1
	Dormitório 1	1	2	2	1	2	2
	Dormitório 2	1	1	2	1	1	2
	Dormitório 3	1	1	1	1	1	1

Tabela 34 – Equivalentes numéricos dos ambientes de permanência prolongada antes e depois da avaliação dos pré-requisitos de iluminação e ventilação natural (continuação).

Habitação	Ambiente de permanência prolongada	Equivalentes Numéricos (antes dos pré-requisitos)			Equivalentes Numéricos (depois dos pré-requisitos)		
		GHR	CR	CA	GHR	CR	CA
8	Sala 1	3	-	1	3	-	1
	Sala 2	2	-	1	2	-	1
	Dormitório 1	5	4	2	3	3	2
	Dormitório 2	5	4	3	3	3	3
	Dormitório 3	3	3	2	3	3	2
	Dormitório 4	2	1	2	2	1	2
9	Sala/Cozinha	1	-	1	1	-	1
	Dormitório 1	1	5	1	1	3	1
	Dormitório 2	1	5	1	1	3	1
	Dormitório 3	1	4	1	1	3	1
	Trabalho	1	5	1	1	3	1
10	Sala/Cozinha	1	-	1	1	-	1
	Dormitório 1	1	5	1	1	3	1
	Dormitório 2	1	4	1	1	3	1
11	Sala	2	-	2	2	-	2
	Dormitório 1	2	4	2	2	4	2
12	Sala	4	-	1	3	-	1
	Dormitório 1	4	4	3	3	3	3
	Dormitório 2	4	4	2	3	3	2
13	Sala	1	-	1	1	-	1
	Dormitório 1	1	4	1	1	3	1
	Dormitório 2	1	1	2	1	1	2
	Dormitório 3	1	1	1	1	1	1
14	Sala	3	-	1	3	-	1
	Dormitório 1	3	3	3	3	3	3
	Dormitório 2	3	3	3	3	3	3
15	Sala	1	-	1	1	-	1
	Dormitório 1	1	3	3	1	3	3
	Dormitório 2	1	3	4	1	3	3
	Dormitório 3	1	2	3	1	2	3
16	Sala	1	-	1	1	-	1
	Dormitório 1	1	4	3	1	3	3
	Dormitório 2	1	3	2	1	3	2
	Dormitório 3	1	2	2	1	2	2

Tabela 34 – Equivalentes numéricos dos ambientes de permanência prolongada antes e depois da avaliação dos pré-requisitos de iluminação e ventilação natural (continuação).

Habitação	Ambiente de permanência prolongada	Equivalentes Numéricos (antes dos pré-requisitos)			Equivalentes Numéricos (depois dos pré-requisitos)		
		GHR	CR	CA	GHR	CR	CA
17	Dormitório 1	4	4	3	3	3	3
	Dormitório 2	4	4	2	3	4	2
	Dormitório 3	4	4	2	3	3	2
18	Sala/Cozinha	1	-	3	1	-	3
	Dormitório 1	1	1	4	1	1	3
	Dormitório 2	1	1	3	1	1	3
	Dormitório 3	1	1	3	1	1	3
19	Dormitório 1	4	3	1	3	3	1
20	Sala/Cozinha	1	-	1	1	-	1
	Dormitório 1	1	4	3	1	3	3
	Dormitório 2	1	3	3	1	3	3
	Dormitório 3	1	3	2	1	3	2
	Dormitório 4	1	2	2	1	2	2
	Trabalho	1	4	3	1	3	3
21	Sala	4	-	1	3	-	1
	Dormitório 1	4	4	2	3	3	2
	Dormitório 2	4	3	2	3	3	2
	Dormitório 3	4	3	2	4	3	2
22	Sala 1	2	-	2	2	-	2
	Sala 2	1	-	1	1	-	1
	Dormitório 1	1	2	3	1	2	3
	Dormitório 2	2	2	3	2	2	3
	Dormitório 3	2	2	3	2	2	3
	Dormitório 4	1	2	2	1	2	2
23	Sala/Cozinha	1	-	1	1	-	1
	Dormitório 1	1	4	1	1	3	1
24	Sala 1	4	-	3	4	-	3
	Sala 2	4	-	2	3	-	2
	Dormitório 1	4	4	3	4	4	3
	Dormitório 2	4	4	3	4	4	3
25	Sala	1	-	1	1	-	1
	Dormitório 1	1	3	2	1	3	2
	Dormitório 2	1	2	1	1	2	1
	Dormitório 3	1	2	1	1	2	1

Tabela 34 – Equivalentes numéricos dos ambientes de permanência prolongada antes e depois da avaliação dos pré-requisitos de iluminação e ventilação natural (continuação).

Habitação	Ambiente de permanência prolongada	Equivalentes Numéricos (antes dos pré-requisitos)			Equivalentes Numéricos (depois dos pré-requisitos)		
		GHR	CR	CA	GHR	CR	CA
26	Sala	1	-	1	1	-	1
	Dormitório 1	1	4	2	1	3	2
	Dormitório 2	1	4	2	1	4	2
	Dormitório 3	1	3	2	1	3	2
27	Sala	1	-	1	1	-	1
	Dormitório 1	1	3	2	1	3	2
	Dormitório 2	1	3	2	1	3	2
28	Sala 1	1	-	2	1	-	2
	Sala 2	1	-	1	1	-	1
	Dormitório 1	1	3	1	1	3	1
	Dormitório 2	1	3	2	1	3	2
29	Sala/Cozinha	1	-	2	1	-	2
	Dormitório 1	1	4	2	1	3	2
	Dormitório 2	3	3	2	3	3	2
	Dormitório 3	3	2	2	3	2	2
	Trabalho	1	3	1	1	3	1
30	Sala 1	1	-	1	1	-	1
	Sala 2	1	-	1	1	-	1
	Dormitório 1	1	4	1	1	3	1
	Dormitório 2	1	4	1	1	3	1
31	Sala	3	-	2	3	-	2
	Dormitório 1	3	4	3	3	4	3
	Dormitório 2	2	3	2	2	3	2
32	Sala	1	-	1	1	-	1
	Dormitório 1	1	4	1	1	3	1
	Dormitório 2	1	3	1	1	3	1
	Dormitório 3	1	3	1	1	3	1
33	Sala	3	-	1	3	-	1
	Dormitório 1	2	3	2	2	3	2
34	Sala/Cozinha	1	-	1	1	-	1
	Dormitório 1	1	5	1	1	3	1
	Dormitório 2	1	5	1	1	3	1
	Dormitório 3	1	4	1	1	3	1
	Dormitório 4	1	4	1	1	4	1

Tabela 34 – Equivalentes numéricos dos ambientes de permanência prolongada antes e depois da avaliação dos pré-requisitos de iluminação e ventilação natural (continuação).

Habitação	Ambiente de permanência prolongada	Equivalentes Numéricos (antes dos pré-requisitos)			Equivalentes Numéricos (depois dos pré-requisitos)		
		GHR	CR	CA	GHR	CR	CA
35	Sala	1	-	1	1	-	1
	Dormitório 1	1	4	2	1	3	2
	Dormitório 2	1	4	2	1	3	2
	Dormitório 3	1	3	2	1	3	2
36	Sala/Cozinha	1	-	1	1	-	1
	Dormitório 1	1	4	3	1	3	3
	Dormitório 2	1	3	3	1	3	3
37	Sala/Cozinha	1	-	1	1	-	1
	Dormitório 1	1	5	1	1	3	1
	Dormitório 2	1	4	1	1	3	1
	Dormitório 3	1	4	1	1	3	1
38	Sala/Cozinha	1	-	1	1	-	1
	Dormitório 1	1	4	2	1	3	2
	Dormitório 2	1	3	3	1	3	3
39	Sala/Cozinha	1	-	1	1	-	1
	Dormitório 1	1	3	3	1	3	3
	Dormitório 2	1	2	3	1	2	3
	Dormitório 3	1	1	3	1	1	3
40	Sala/Cozinha	1	-	1	1	-	1
	Dormitório 1	2	4	1	2	3	1
	Dormitório 2	2	4	2	2	3	2
	Dormitório 3	2	2	1	2	2	1
41	Sala/Cozinha	1	-	2	1	-	2
	Dormitório 1	1	2	2	1	2	2
42	Sala/Cozinha	1	-	1	1	-	1
	Dormitório 1	1	3	1	1	3	1
43	Sala/Cozinha	1	-	1	1	-	1
	Dormitório 1	1	3	1	1	3	1
44	Sala/Cozinha	3	-	1	3	-	1
	Dormitório 1	3	2	3	3	2	3
	Dormitório 2	2	1	1	2	1	1
45	Sala/Cozinha	3	-	2	3	-	2
	Dormitório 1	1	3	2	1	3	2
	Dormitório 2	1	2	2	1	2	2

Tabela 34 – Equivalentes numéricos dos ambientes de permanência prolongada antes e depois da avaliação dos pré-requisitos de iluminação e ventilação natural (continuação).

Habitação	Ambiente de permanência prolongada	Equivalentes Numéricos (antes dos pré-requisitos)			Equivalentes Numéricos (depois dos pré-requisitos)		
46	Sala/Cozinha	4	-	1	3	-	1
	Dormitório 1	3	3	2	3	3	2
	Dormitório 2	3	3	2	3	3	2
	Dormitório 3	1	4	2	1	3	2
47	Sala/Cozinha	3	-	1	3	-	1
	Dormitório 1	4	3	3	3	3	3
	Dormitório 2	3	3	2	3	3	2
48	Sala/Cozinha	1	-	1	1	-	1
	Dormitório 1	1	3	2	1	3	2
	Dormitório 2	1	3	2	1	3	2
49	Sala/Cozinha	1	-	2	1	-	2
	Dormitório 1	1	4	2	1	4	2
	Dormitório 2	1	3	2	1	3	2
	Dormitório 3	1	4	1	1	4	1
	Trabalho	1	5	1	1	3	1
50	Sala/Cozinha	1	-	2	1	-	2
	Dormitório 1	1	2	2	1	2	2
	Dormitório 2	1	1	2	1	1	2

APÊNDICE D – INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS NAS VARIÁVEIS DE SAÍDA

Neste apêndice são mostradas as influências dos parâmetros obtidas através da análise de variância nos graus hora de resfriamento e nos consumos para aquecimento e resfriamento. A análise foi realizada para os ambientes de permanência prolongada apenas das tipologias representativas dos grupos de habitações avaliadas.

Tabela 35 – Influência dos parâmetros nos graus hora para resfriamento:
GRUPO 1 – Habitação 41 – Ambiente Sala/Cozinha.









Sala/Cozinha	
Parâmetro	Influência
Absortância da parede	 43%
Absortância da cobertura	 12%
Contato da cobertura*Absortância da cobertura	 10%
Transmitância da parede	 8%
Absortância da parede*Transmitância da parede	 7%
Contato da cobertura	 6%
Absortância da cobertura*Transmitância da cobertura	 3%
Transmitância da cobertura	 3%

Tabela 36 – Influência dos parâmetros nos graus hora para resfriamento:
GRUPO 1 – Habitação 41 – Ambiente Dormitório 1.









Dormitório 1	
Parâmetro	Influência
Absortância da parede	 41%
Absortância da cobertura	 11%
Contato da cobertura*Absortância da cobertura	 11%
Transmitância da parede	 9%
Absortância da parede*Transmitância da parede	 7%
Contato da cobertura	 6%
Absortância da cobertura*Transmitância da cobertura	 3%
Transmitância da cobertura	 3%

Tabela 37 – Influência dos parâmetros nos consumos relativos para resfriamento: GRUPO 1 – Habitação 41 – Ambiente Sala/Cozinha.

Sala/Cozinha	
Parâmetro	Influência
Absortância da parede	30%
Transmitância da parede	17%
Capacidade térmica da parede	9%
Transmitância da parede*Capacidade térmica da parede	9%
Contato do piso	8%
Absortância da cobertura	5%
Contato da cobertura*Absortância da cobertura	4%
Absortância da parede*Capacidade térmica da parede	3%

Tabela 38 – Influência dos parâmetros nos consumos relativos para resfriamento: GRUPO 1 – Habitação 41 - Ambiente Dormitório 1.

Dormitório 1	
Parâmetro	Influência
Absortância da parede	29%
Transmitância da parede	19%
Capacidade térmica da parede	8%
Transmitância da parede*Capacidade térmica da parede	8%
Contato do piso	7%
Absortância da cobertura	5%
Contato da cobertura*Absortância da cobertura	5%
Transmitância da cobertura	3%

Tabela 39 – Influência dos parâmetros nos consumos relativos para aquecimento: GRUPO 1 – Habitação 41 - Ambiente Sala/Cozinha.

Sala/Cozinha	
Parâmetro	Influência
Transmitância da parede	34%
Contato da cobertura	26%
Transmitância da cobertura	12%
Contato da cobertura*Transmitância da cobertura	10%
Absortância da parede	7%
Capacidade térmica da parede	2%
Transmitância da parede*Capacidade térmica da parede	2%
Contato do piso	2%

Tabela 40 – Influência dos parâmetros nos consumos relativos para aquecimento: GRUPO 1 – Habitação 41 - Ambiente Dormitório 1.

Dormitório 1	
Parâmetro	Influência
Transmitância da parede	34%
Contato da cobertura	27%
Transmitância da cobertura	12%
Contato da cobertura*Transmitância da cobertura	11%
Absortância da parede	6%
Contato do piso	2%
Capacidade térmica da parede	2%
Transmitância da parede*Capacidade térmica da parede	2%

Tabela 41 – Influência dos parâmetros nos graus hora para resfriamento: GRUPO 2 – Habitação 45 – Ambiente Sala.

Sala	
Parâmetro	Influência
Absortância da parede	73%
Transmitância da parede	12%
Absortância da parede*Transmitância da parede	10%
Contato do piso	2%
Contato do piso*Absortância da parede	1%
Contato da cobertura*Absortância da cobertura	0%
Absortância da cobertura	0%
Capacidade térmica da parede	0%

Tabela 42 – Influência dos parâmetros nos graus hora para resfriamento: GRUPO 2 – Habitação 45 – Ambiente Dormitório 1.

Dormitório 1	
Parâmetro	Influência
Absortância da parede	58%
Absortância da cobertura	8%
Contato da cobertura*Absortância da cobertura	8%
Transmitância da parede	8%
Absortância da parede*Transmitância da parede	7%
Contato da cobertura	3%
Absortância da cobertura*Transmitância da cobertura	2%
Transmitância da cobertura	2%

Tabela 43 – Influência dos parâmetros nos graus hora para resfriamento:
GRUPO 2 – Habitação 45 – Ambiente Dormitório 2.

Dormitório 2	
Parâmetro	Influência
Absortância da parede	56%
Absortância da cobertura	9%
Contato da cobertura*Absortância da cobertura	9%
Transmitância da parede	7%
Absortância da parede*Transmitância da parede	7%
Contato da cobertura	3%
Absortância da cobertura*Transmitância da cobertura	3%
Transmitância da cobertura	2%

Tabela 44 – Influência dos parâmetros nos consumos relativos para
resfriamento: GRUPO 2 – Habitação 45 – Ambiente Sala.

Sala	
Parâmetro	Influência
Absortância da parede	64%
Contato do piso	10%
Transmitância da parede	7%
Capacidade térmica da parede	5%
Transmitância da parede*Capacidade térmica da parede	5%
Contato do piso*Absortância da parede	4%
Absortância da parede*Capacidade térmica da parede	3%
Contato da cobertura*Absortância da cobertura	1%

Tabela 45 – Influência dos parâmetros nos consumos relativos para
resfriamento: GRUPO 2 – Habitação 45 – Ambiente Dormitório 1.

Dormitório 1	
Parâmetro	Influência
Absortância da parede	54%
Transmitância da parede	14%
Capacidade térmica da parede	6%
Transmitância da parede*Capacidade térmica da parede	6%
Absortância da cobertura	3%
Contato da cobertura*Absortância da cobertura	3%
Absortância da parede*Capacidade térmica da parede	3%
Transmitância da cobertura	2%

Tabela 46 – Influência dos parâmetros nos consumos relativos para resfriamento: GRUPO 2 – Habitação 45 – Ambiente Dormitório 2.

Dormitório 2	
Parâmetro	Influência
Absortância da parede	55%
Transmitância da parede	13%
Capacidade térmica da parede	5%
Transmitância da parede*Capacidade térmica da parede	5%
Absortância da cobertura	4%
Contato da cobertura*Absortância da cobertura	4%
Transmitância da cobertura	3%
Absortância da parede*Capacidade térmica da parede	2%

Tabela 47 – Influência dos parâmetros nos consumos relativos para aquecimento: GRUPO 2 – Habitação 45 – Ambiente Sala.

Sala	
Parâmetro	Influência
Transmitância da parede	59%
Absortância da parede	30%
Contato do piso	3%
Capacidade térmica da parede	2%
Transmitância da parede*Capacidade térmica da parede	2%
Contato do piso*Absortância da parede	1%
Absortância da parede*Capacidade térmica da parede	0%
Contato da cobertura*Absortância da cobertura	0%

Tabela 48 – Influência dos parâmetros nos consumos relativos para aquecimento: GRUPO 2 – Habitação 45 – Ambiente Dormitório 1.

Dormitório 1	
Parâmetro	Influência
Transmitância da parede	42%
Contato da cobertura	21%
Absortância da parede	14%
Transmitância da cobertura	9%
Contato da cobertura*Transmitância da cobertura	8%
Capacidade térmica da parede	1%
Transmitância da parede*Capacidade térmica da parede	1%
Absortância da cobertura	1%

Tabela 49 – Influência dos parâmetros nos consumos relativos para aquecimento: GRUPO 2 – Habitação 45 – Ambiente Dormitório 2.

Dormitório 2	
Parâmetro	Influência
Transmitância da parede	38%
Contato da cobertura	23%
Absortância da parede	14%
Transmitância da cobertura	10%
Contato da cobertura*Transmitância da cobertura	9%
Absortância da cobertura	1%
Contato da cobertura*Absortância da cobertura	1%
Capacidade térmica da parede	1%

Tabela 50 – Influência dos parâmetros nos graus hora para resfriamento: GRUPO 3 – Habitação 27 – Ambiente Sala.

Sala	
Parâmetro	Influência
Absortância da parede	34%
Absortância da cobertura	15%
Contato da cobertura*Absortância da cobertura	15%
Contato da cobertura	8%
Transmitância da parede	6%
Absortância da parede*Transmitância da parede	6%
Absortância da cobertura*Transmitância da cobertura	4%
Transmitância da cobertura	4%

Tabela 51 – Influência dos parâmetros nos graus hora para resfriamento: GRUPO 3 – Habitação 27 – Ambiente Dormitório 1.

Dormitório 1	
Parâmetro	Influência
Absortância da parede	23%
Absortância da cobertura	19%
Contato da cobertura*Absortância da cobertura	18%
Contato da cobertura	11%
Absortância da cobertura*Transmitância da cobertura	5%
Transmitância da cobertura	5%
Contato da cobertura*Transmitância da cobertura	4%
Transmitância da parede	4%

Tabela 52 – Influência dos parâmetros nos graus hora para resfriamento:
GRUPO 3 – Habitação 27 – Ambiente Dormitório 2.









Dormitório 2	
Parâmetro	Influência
Absortância da parede	 34%
Absortância da cobertura	 15%
Contato da cobertura*Absortância da cobertura	 15%
Contato da cobertura	 8%
Transmitância da parede	 6%
Absortância da parede*Transmitância da parede	 6%
Absortância da cobertura*Transmitância da cobertura	 4%
Transmitância da cobertura	 4%

Tabela 53 – Influência dos parâmetros nos consumos relativos para resfriamento: GRUPO 3 – Habitação 27 – Ambiente Sala.









Sala	
Parâmetro	Influência
Absortância da parede	 34%
Contato do piso	 13%
Absortância da cobertura	 10%
Contato da cobertura*Absortância da cobertura	 10%
Transmitância da parede	 7%
Capacidade térmica da parede	 6%
Transmitância da parede*Capacidade térmica da parede	 6%
Contato do piso*Absortância da parede	 3%

Tabela 54 – Influência dos parâmetros nos consumos relativos para resfriamento: GRUPO 3 – Habitação 27 – Ambiente Dormitório 1.









Dormitório 1	
Parâmetro	Influência
Absortância da parede	 27%
Contato do piso	 15%
Absortância da cobertura	 13%
Contato da cobertura*Absortância da cobertura	 12%
Transmitância da parede	 6%
Capacidade térmica da parede	 3%
Transmitância da parede*Capacidade térmica da parede	 3%
Transmitância da cobertura	 3%

Tabela 55 – Influência dos parâmetros nos consumos relativos para resfriamento: GRUPO 3 – Habitação 27 – Ambiente Dormitório 2.

Dormitório 2	
Parâmetro	Influência
Absortância da parede	34%
Transmitância da parede	11%
Contato do piso	10%
Absortância da cobertura	9%
Contato da cobertura*Absortância da cobertura	9%
Capacidade térmica da parede	5%
Transmitância da parede*Capacidade térmica da parede	5%
Contato do piso*Absortância da parede	3%

Tabela 56 – Influência dos parâmetros nos consumos relativos para aquecimento: GRUPO 3 – Habitação 27 – Ambiente Sala.

Sala	
Parâmetro	Influência
Contato da cobertura	28%
Transmitância da parede	26%
Transmitância da cobertura	12%
Contato da cobertura*Transmitância da cobertura	10%
Absortância da parede	8%
Contato do piso	3%
Absortância da cobertura	3%
Contato da cobertura*Absortância da cobertura	2%

Tabela 57 – Influência dos parâmetros nos consumos relativos para aquecimento: GRUPO 3 – Habitação 27 – Ambiente Dormitório 1.

Dormitório 1	
Parâmetro	Influência
Contato da cobertura	36%
Transmitância da parede	17%
Transmitância da cobertura	15%
Contato da cobertura*Transmitância da cobertura	14%
Absortância da parede	5%
Absortância da cobertura	3%
Contato da cobertura*Absortância da cobertura	3%
Contato do piso	3%

Tabela 58 – Influência dos parâmetros nos consumos relativos para aquecimento: GRUPO 3 – Habitação 27 – Ambiente Dormitório 2.

Dormitório 2	
Parâmetro	Influência
Contato da cobertura	30%
Transmitância da parede	26%
Transmitância da cobertura	13%
Contato da cobertura*Transmitância da cobertura	12%
Absortância da parede	7%
Absortância da cobertura	2%
Contato da cobertura*Absortância da cobertura	2%
Contato do piso	2%

Tabela 59 – Influência dos parâmetros nos graus hora para resfriamento: GRUPO 4 – Habitação 37 – Ambiente Sala/cozinha.

Sala/Cozinha	
Parâmetro	Influência
Absortância da parede	38%
Absortância da cobertura	13%
Contato da cobertura*Absortância da cobertura	13%
Transmitância da parede	8%
Contato da cobertura	7%
Absortância da parede*Transmitância da parede	7%
Absortância da cobertura*Transmitância da cobertura	4%
Transmitância da cobertura	4%

Tabela 60 – Influência dos parâmetros nos graus hora para resfriamento: GRUPO 4 – Habitação 37 – Ambiente Dormitório 1.

Dormitório 1	
Parâmetro	Influência
Absortância da parede	43%
Absortância da cobertura	11%
Contato da cobertura*Absortância da cobertura	11%
Transmitância da parede	9%
Absortância da parede*Transmitância da parede	8%
Contato da cobertura	6%
Absortância da cobertura*Transmitância da cobertura	3%
Transmitância da cobertura	3%

Tabela 61 – Influência dos parâmetros nos graus hora para resfriamento:
GRUPO 4 – Habitação 37 – Ambiente Dormitório 2.









Dormitório 2	
Parâmetro	Influência
Absortância da parede	 46%
Absortância da cobertura	 10%
Contato da cobertura*Absortância da cobertura	 10%
Transmitância da parede	 9%
Absortância da parede*Transmitância da parede	 8%
Contato da cobertura	 5%
Absortância da cobertura*Transmitância da cobertura	 3%
Transmitância da cobertura	 3%

Tabela 62 – Influência dos parâmetros nos graus hora para resfriamento:
GRUPO 4 – Habitação 37 – Ambiente Dormitório 3.









Dormitório 3	
Parâmetro	Influência
Absortância da parede	 32%
Absortância da cobertura	 15%
Contato da cobertura*Absortância da cobertura	 14%
Contato da cobertura	 8%
Transmitância da parede	 7%
Absortância da parede*Transmitância da parede	 6%
Absortância da cobertura*Transmitância da cobertura	 4%
Transmitância da cobertura	 4%

Tabela 63 – Influência dos parâmetros nos consumos relativos para resfriamento: GRUPO 4 – Habitação 37 – Ambiente Sala/cozinha.









Sala/Cozinha	
Parâmetro	Influência
Absortância da parede	 37%
Contato do piso	 9%
Transmitância da parede	 9%
Absortância da cobertura	 8%
Contato da cobertura*Absortância da cobertura	 7%
Capacidade térmica da parede	 7%
Transmitância da parede*Capacidade térmica da parede	 7%
Contato do piso*Absortância da parede	 3%

Tabela 64 – Influência dos parâmetros nos consumos relativos para resfriamento: GRUPO 4 – Habitação 37 – Ambiente Dormitório 1.









Dormitório 1	
Parâmetro	Influência
Absortância da parede	 36%
Transmitância da parede	 15%
Capacidade térmica da parede	 7%
Transmitância da parede*Capacidade térmica da parede	 7%
Contato do piso	 6%
Absortância da cobertura	 6%
Contato da cobertura*Absortância da cobertura	 6%
Absortância da parede*Capacidade térmica da parede	 3%

Tabela 65 – Influência dos parâmetros nos consumos relativos para resfriamento: GRUPO 4 – Habitação 37 – Ambiente Dormitório 2.









Dormitório 2	
Parâmetro	Influência
Absortância da parede	 37%
Transmitância da parede	 17%
Capacidade térmica da parede	 8%
Transmitância da parede*Capacidade térmica da parede	 8%
Contato do piso	 5%
Absortância da cobertura	 5%
Contato da cobertura*Absortância da cobertura	 5%
Absortância da parede*Capacidade térmica da parede	 3%

Tabela 66 – Influência dos parâmetros nos consumos relativos para resfriamento: GRUPO 4 – Habitação 37 – Ambiente Dormitório 3.









Dormitório 3	
Parâmetro	Influência
Absortância da parede	 31%
Transmitância da parede	 13%
Absortância da cobertura	 10%
Contato da cobertura*Absortância da cobertura	 9%
Contato do piso	 8%
Capacidade térmica da parede	 4%
Transmitância da parede*Capacidade térmica da parede	 4%
Transmitância da cobertura	 3%

Tabela 67 – Influência dos parâmetros nos consumos relativos para aquecimento: GRUPO 4 – Habitação 37 – Ambiente Sala/cozinha.

Sala/Cozinha	
Parâmetro	Influência
Contato da cobertura	28%
Transmitância da parede	28%
Transmitância da cobertura	13%
Contato da cobertura*Transmitância da cobertura	11%
Absortância da parede	8%
Contato do piso	2%
Capacidade térmica da parede	2%
Transmitância da parede*Capacidade térmica da parede	2%

Tabela 68 – Influência dos parâmetros nos consumos relativos para aquecimento: GRUPO 4 – Habitação 37 – Ambiente Dormitório 1.

Dormitório 1	
Parâmetro	Influência
Transmitância da parede	35%
Contato da cobertura	26%
Transmitância da cobertura	11%
Contato da cobertura*Transmitância da cobertura	10%
Absortância da parede	8%
Contato do piso	2%
Absortância da cobertura	2%
Contato da cobertura*Absortância da cobertura	1%

Tabela 69 – Influência dos parâmetros nos consumos relativos para aquecimento: GRUPO 4 – Habitação 37 – Ambiente Dormitório 2.

Dormitório 2	
Parâmetro	Influência
Transmitância da parede	42%
Contato da cobertura	22%
Transmitância da cobertura	9%
Absortância da parede	9%
Contato da cobertura*Transmitância da cobertura	8%
Contato do piso	2%
Capacidade térmica da parede	2%
Transmitância da parede*Capacidade térmica da parede	2%

Tabela 70 – Influência dos parâmetros nos consumos relativos para aquecimento: GRUPO 4 – Habitação 37 – Ambiente Dormitório 3.

Dormitório 3	
Parâmetro	Influência
Contato da cobertura	34%
Transmitância da parede	22%
Transmitância da cobertura	14%
Contato da cobertura*Transmitância da cobertura	13%
Absortância da parede	6%
Contato do piso	3%
Absortância da cobertura	2%
Contato da cobertura*Absortância da cobertura	2%

Tabela 71 – Influência dos parâmetros nos graus hora para resfriamento: GRUPO 5 – Habitação 4 – Ambiente Sala.

Sala	
Parâmetro	Influência
Absortância da parede	29%
Absortância da cobertura	16%
Contato da cobertura*Absortância da cobertura	16%
Contato da cobertura	9%
Transmitância da parede	6%
Absortância da parede*Transmitância da parede	5%
Absortância da cobertura*Transmitância da cobertura	5%
Transmitância da cobertura	5%

Tabela 72 – Influência dos parâmetros nos graus hora para resfriamento: GRUPO 5 – Habitação 4 – Ambiente Dormitório 1.

DORMITÓRIO 1	
Parâmetro	Influência
Absortância da parede	34%
Absortância da cobertura	14%
Contato da cobertura*Absortância da cobertura	14%
Contato da cobertura	8%
Transmitância da parede	7%
Absortância da parede*Transmitância da parede	6%
Absortância da cobertura*Transmitância da cobertura	4%
Transmitância da cobertura	4%

Tabela 73 – Influência dos parâmetros nos graus hora para resfriamento:
GRUPO 5 – Habitação 4 – Ambiente Dormitório 2.

DORMITÓRIO 2	
Parâmetro	Influência
Absortância da parede	23%
Absortância da cobertura	18%
Contato da cobertura*Absortância da cobertura	18%
Contato da cobertura	11%
Transmitância da parede	6%
Absortância da cobertura*Transmitância da cobertura	5%
Transmitância da cobertura	5%
Contato da cobertura*Transmitância da cobertura	5%

Tabela 74 – Influência dos parâmetros nos graus hora para resfriamento:
GRUPO 5 – Habitação 4 – Ambiente Dormitório 3.

DORMITÓRIO 3	
Parâmetro	Influência
Absortância da parede	37%
Absortância da cobertura	13%
Contato da cobertura*Absortância da cobertura	13%
Contato da cobertura	7%
Transmitância da parede	7%
Absortância da parede*Transmitância da parede	6%
Absortância da cobertura*Transmitância da cobertura	4%
Transmitância da cobertura	4%

Tabela 75 – Influência dos parâmetros nos consumos relativos para
resfriamento: GRUPO 5 – Habitação 4 – Ambiente Sala.

Sala	
Parâmetro	Influência
Absortância da parede	31%
Contato do piso	14%
Absortância da cobertura	10%
Contato da cobertura*Absortância da cobertura	10%
Transmitância da parede	7%
Capacidade térmica da parede	5%
Transmitância da parede*Capacidade térmica da parede	5%
Transmitância da cobertura	3%

Tabela 76 – Influência dos parâmetros nos consumos relativos para resfriamento: GRUPO 5 – Habitação 4 – Ambiente Dormitório 1.









Dormitório 1	
Parâmetro	Influência
Absortância da parede	 32%
Transmitância da parede	 12%
Contato do piso	 10%
Absortância da cobertura	 8%
Contato da cobertura*Absortância da cobertura	 8%
Capacidade térmica da parede	 6%
Transmitância da parede*Capacidade térmica da parede	 6%
Transmitância da cobertura	 3%

Tabela 77 – Influência dos parâmetros nos consumos relativos para resfriamento: GRUPO 5 – Habitação 4 – Ambiente Dormitório 2.









Dormitório 2	
Parâmetro	Influência
Absortância da parede	 25%
Contato do piso	 13%
Absortância da cobertura	 11%
Contato da cobertura*Absortância da cobertura	 11%
Transmitância da parede	 10%
Transmitância da cobertura	 4%
Capacidade térmica da parede	 4%
Transmitância da parede*Capacidade térmica da parede	 4%

Tabela 78 – Influência dos parâmetros nos consumos relativos para resfriamento: GRUPO 5 – Habitação 4 – Ambiente Dormitório 3.









Dormitório 3	
Parâmetro	Influência
Absortância da parede	 30%
Transmitância da parede	 15%
Contato do piso	 9%
Capacidade térmica da parede	 7%
Transmitância da parede*Capacidade térmica da parede	 7%
Absortância da cobertura	 7%
Contato da cobertura*Absortância da cobertura	 7%
Transmitância da cobertura	 3%

Tabela 79 – Influência dos parâmetros nos consumos relativos para aquecimento: GRUPO 5 – Habitação 4 – Ambiente Sala.

Sala	
Parâmetro	Influência
Contato da cobertura	31%
Transmitância da parede	22%
Transmitância da cobertura	14%
Contato da cobertura*Transmitância da cobertura	12%
Absortância da parede	7%
Contato do piso	3%
Absortância da cobertura	2%
Contato da cobertura*Absortância da cobertura	2%





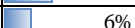
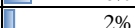
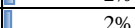
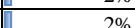
Tabela 80 – Influência dos parâmetros nos consumos relativos para aquecimento: GRUPO 5 – Habitação 4 – Ambiente Dormitório 1.

Dormitório 1	
Parâmetro	Influência
Contato da cobertura	30%
Transmitância da parede	28%
Transmitância da cobertura	13%
Contato da cobertura*Transmitância da cobertura	11%
Absortância da parede	7%
Absortância da cobertura	2%
Contato do piso	2%
Contato da cobertura*Absortância da cobertura	2%

Tabela 81 – Influência dos parâmetros nos consumos relativos para aquecimento: GRUPO 5 – Habitação 4 – Ambiente Dormitório 2.

Dormitório 2	
Parâmetro	Influência
Contato da cobertura	39%
Transmitância da cobertura	16%
Contato da cobertura*Transmitância da cobertura	15%
Transmitância da parede	15%
Absortância da parede	5%
Contato do piso	3%
Absortância da cobertura	3%
Contato da cobertura*Absortância da cobertura	2%

Tabela 82 – Influência dos parâmetros nos consumos relativos para aquecimento: GRUPO 5 – Habitação 4 – Ambiente Dormitório 2.

Dormitório 3	
Parâmetro	Influência
Transmitância da parede	 31%
Contato da cobertura	 29%
Transmitância da cobertura	 12%
Contato da cobertura*Transmitância da cobertura	 11%
Absortância da parede	 6%
Contato do piso	 2%
Absortância da cobertura	 2%
Contato da cobertura*Absortância da cobertura	 2%